

КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

В.М. САЛО, О.Р. ЛУЗАН, П.Г. ЛУЗАН, Ю.В. МАЧОК

**ЗАГОРТАЮЧІ РОБОЧІ ОРГАНИ ДЛЯ
ПРЯМОЇ СІВБИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

МОНОГРАФІЯ

Кіровоград
Видавець Лисенко В.Ф.
2012

ББК 40.724
С16
УДК 631.331.53: 631.33.024.2

Рецензенти:

Дідух В.Ф., доктор технічних наук, професор, завідувачий кафедрою експлуатації та технічного сервісу машин ім. професора Семковича О.Д. (Львівський національний аграрний університет Міністерства освіти, молоді та спорту України)

Аніскевич Л.В., доктор технічних наук, професор кафедри інженерного забезпечення рослинництва (Національний університет біоресурсів і природокористування Кабінету Міністрів України)

Бакун М.В., кандидат технічних наук, професор кафедри сільськогосподарських машин (Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка Міністерства аграрної політики та продовольства України)

Монографію розглянуто й схвалено до друку на засіданні вченої ради Кіровоградського національного технічного університету (протокол № 2 від 30 жовтня 2012 року).

Сало В.М., Лузан О.Р., Лузан П.Г., Мачок Ю.В.

С16 Загортаючі робочі органи для прямої сівби зернових культур / В.М. Сало, О.Р. Лузан, П.Г. Лузан, Ю.В. Мачок.- Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012.- 164 с.

ISBN 978-966-2570-55-7

У монографії наведено вирішення наукової задачі забезпечення працездатності і підвищення ефективності функціонування загортаючих робочих органів машин для прямої сівби зернових культур.

Значна увага приділена теоретичному аналізу процесу взаємодії рослинних решток різних геометричних і технологічних параметрів з поверхнею стеблевідводу та умов їх відведення в бік від стояка сошника.

У роботі використані результати власних досліджень, а також результати досліджень українських та зарубіжних вчених.

Монографія призначена для наукових співробітників, аспірантів, магістрантів, конструкторів сільськогосподарської техніки та фахівців сільського господарства.

ББК 40.724

Монографія підготовлена в рамках роботи над виконанням фундаментального дослідження “Науково-технологічні основи обґрунтування параметрів робочих органів сучасних посівних систем”, (№ ДР 0111U000301) та виконанням дисертаційного дослідження “Обґрунтування параметрів загортаючих робочих органів для прямої сівби зернових культур”.

ISBN 978-966-2570-55-7

© Сало В.М., Лузан О.Р., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., 2012
© Видавець Лисенко В.Ф., 2012

ВСТУП

Одним з перспективних напрямів вдосконалення виробництва продукції рослинництва в Україні та світі в даний час є розвиток енергозберігаючих, ґрунтозахисних, екологічно безпечних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Існуючі сівалки прямої сівби зернових культур, як вітчизняного так і закордонного виробництва, при своїх перевагах і недоліках у повній мірі не забезпечують агротехнічні та екологічні вимоги. Найбільш ефективні для прямої сівби сівалки, що обладнані сошниками з гострим кутом входження в ґрунт, мають суттєвий недолік – накопичення на стояках загортаючих робочих органів післяжнивних рослинних решток. Розроблені пристрої для забезпечення працездатності таких загортаючих робочих органів призводять до значного підвищення металоємності, внаслідок чого втрачається інтерес до їх використання. Актуальними є дослідження, спрямовані на пошук шляхів забезпечення працездатності та підвищення ефективності загортаючих робочих органів і створення на їх основі нових, сучасних, порівняно недорогих, вітчизняних конструкцій сівалок, які забезпечать реалізацію новітніх технологій вирощування зернових культур із збереженням родючих українських чорноземів. Обґрунтування раціональних конструктивних параметрів дасть змогу оптимізувати процес сівби, зменшити витрати на її виконання, забезпечити надійність технологічного процесу при різному рівні підготовки поля під сівбу та мінімальному негативному впливові на саме ґрунтове середовище.

1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Передумови виникнення і розвиток прямої сівби

Світовий досвід землеробства довів [2, 3, 5, 35, 42, 44, 46, 48, 50, 55, 75, 77, 105, 107], що глибокий щорічний обробіток ґрунту не тільки не дає користі, а й завдає непоправної шкоди, посилюючи ерозійні процеси. Коли вплив людини на землю став набагато відчутнішим та інтенсивнішим, землеробство зіткнулося з проблемою швидкої деградації ґрунтів і різким зниженням їхньої родючості.

Традиційні технології вирощування сільськогосподарських культур (у т.ч. і зернових), які реалізуються із застосуванням оранки, потребують значну кількість енергетичних ресурсів, що дуже впливає на собівартість виробленої продукції. За таких технологій на обробіток ґрунту витрачається значна кількість паливно-мастильних матеріалів, робочого часу, добрив, пестицидів, задіяна велика кількість техніки, в наслідок чого посилюється водна й вітрова ерозії ґрунту, зменшується вміст органічних речовин у ньому, погіршується екологічний стан [26, 39, 41, 43, 62, 66, 71, 85, 99, 125]. Встановлено, що на такі системи обробітку ґрунту припадає більше 40 % енергетичних і 25 % трудових витрат загального обсягу польових робіт [63, 93].

За останні роки чорноземні ґрунти значно втратили свою потенційну родючість (гумус, структуру та інші властивості). Спричинюють ці явища: широке застосування оранки, висока інтенсивність обробітку ґрунту, незначне повернення органіки в ґрунт.

Набувають поширення нові системи землеробства mini- та no-till технології. Вони передбачають відмову від оранки ґрунту, сівбу по стерні

без будь-якого чи на невелику глибину обробітку. В ґрунті створюється тільки борозна для висівання насіння та припосівного внесення добрив.

За нульовою та мінімальною технологіями обробляють близько 40 % світових запасів посівних угідь. Такі системи землеробства в США, Канаді, Бразилії, Аргентині, Австралії стали загальноприйнятими [8, 17, 18, 59, 75, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126], широко впроваджуються вони і у Європі [85, 89, 117]. Західні країни, які перейшли на мінімізацію обробітку ґрунту й мульчування його поверхні рослинними рештками, витрачають на одиницю зібраного врожаю в декілька разів менше коштів, ніж за технологій, що базуються на застосуванні традиційного обробітку ґрунту[17].

У радянські часи ідею обробітку ґрунту без обертання скиби науково розробляли та застосовували Бараєв О.І., Мальцев Т.С., Овсінський І.Є., Моргун Ф.Т., Шикула М.К. [5, 37, 55, 61, 72, 76, 116] та ін., але такі наукові та практичні розробки не отримували широкого впровадження. Підвищення врожайності отримували за рахунок інтенсивних технологій вирощування, які передбачали внесення добрив та широке застосування пестицидів.

Як показує світова практика застосування no-till технологій дозволяє суттєво підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва. Суттєвими їх перевагами є екологія виробництва, тобто відсутність забруднення довкілля, екологічна чистота вирощеної продукції та підвищення природної родючості ґрунту.

При впровадженні no-till технологій в сільськогосподарських підприємствах України перевагу надають сівалкам імпортного виробництва, які в більшості випадків розроблені без врахування особливостей українських чорноземів. Сівалки вітчизняного виробництва для таких технологій на ринку сільськогосподарської техніки практично відсутні [64].

1.2. Аналіз технічного забезпечення прямої сівби

1.2.1. Аналіз основних типів сошників для прямої сівби

Сошник є одним із головних елементів конструкції сівалки і виконує такі функції (рис. 1.1). Як свідчить практика [7, 15, 32, 33, 82, 84, 94, 117], найбільш важливим показником роботи сошника є форма борозни, завдяки якій створюється необхідна мікроструктура в ґрунті, що впливає на проростання зерна. Форма і розміри борозни, яку утворює сошник, залежать переважно від кута входження сошника у ґрунт і від параметрів клина, утвореного формою його робочої частини [38, 54, 58, 63, 75, 82, 98, 104].

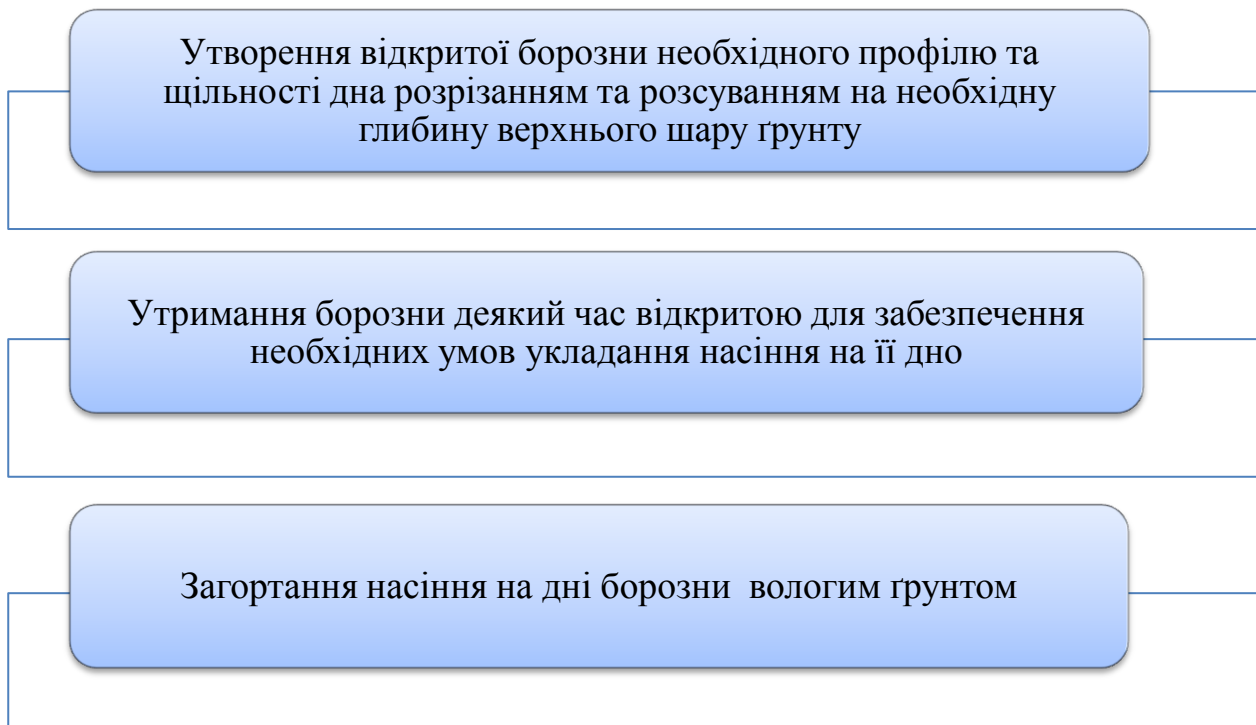


Рис. 1.1. Основні функції сошників сівалок зернових культур

Найбільш розповсюдженими формами борозен, які створюються сошниками різних типів є: V-, W-, U- та перевернуті Т-подібні, (рис. 1.2). Також застосовуються варіанти сівби без утворення борозни з розкиданням по поверхні (поверхневий чи підґрунтовий).



Рис. 1.2. Форма профілю борозен: (I) V-подібна; (II) W-подібна, (III) U-подібна; (IV) перевернута Т-подібна

Сошник, вибраний для сівби, повинен відповідати таким вимогам:

- формувати очищену від рослинних решток посівну борозну, висівати насіння та прикривати його достатньою кількістю вологого ґрунту і забезпечувати надійний контакт з ним;
- для безперебійної роботи забезпечувати самоочищення від рослинних решток і мати захисні пристрої від перешкод (грудки, каміння і т.п.);
- утримувати постійну оптимальну глибину сівби;
- мати можливість швидко змінювати тиск сошника на ґрунт в різних умовах роботи;
- забезпечувати якість сівби у відповідності з агротехнічними вимогами навіть при швидкостях до 20 км/год.;
- мати довгий термін служби і низькі витрати на обслуговування.

Максимально враховуючи всі можливі умови сівби, на сьогодні розроблено велику кількість різноманітних типів сошників, якими комплектуються сівалки, і які можуть бути використані для прямої сівби зернових культур (рис. 1.3).

Проаналізуємо переваги і недоліки конструкцій сошників, які використовуються на сівалках і можуть бути використані для прямої сівби. До сошників з тупим кутом входження в ґрунт можна віднести одно- і дводискові, полозовидні та кілевидні.

На дискові сошники менше налипає вологий ґрунт, вони забезпечують надійне протікання процесу сівби у відповідності з агротехнічними вимогами на грудкуватому і глибистому ґрунті, на полях

засмічених рослинними та кореновими рештками бур'янів, на перелогових і цілих землях з більшими швидкостями.

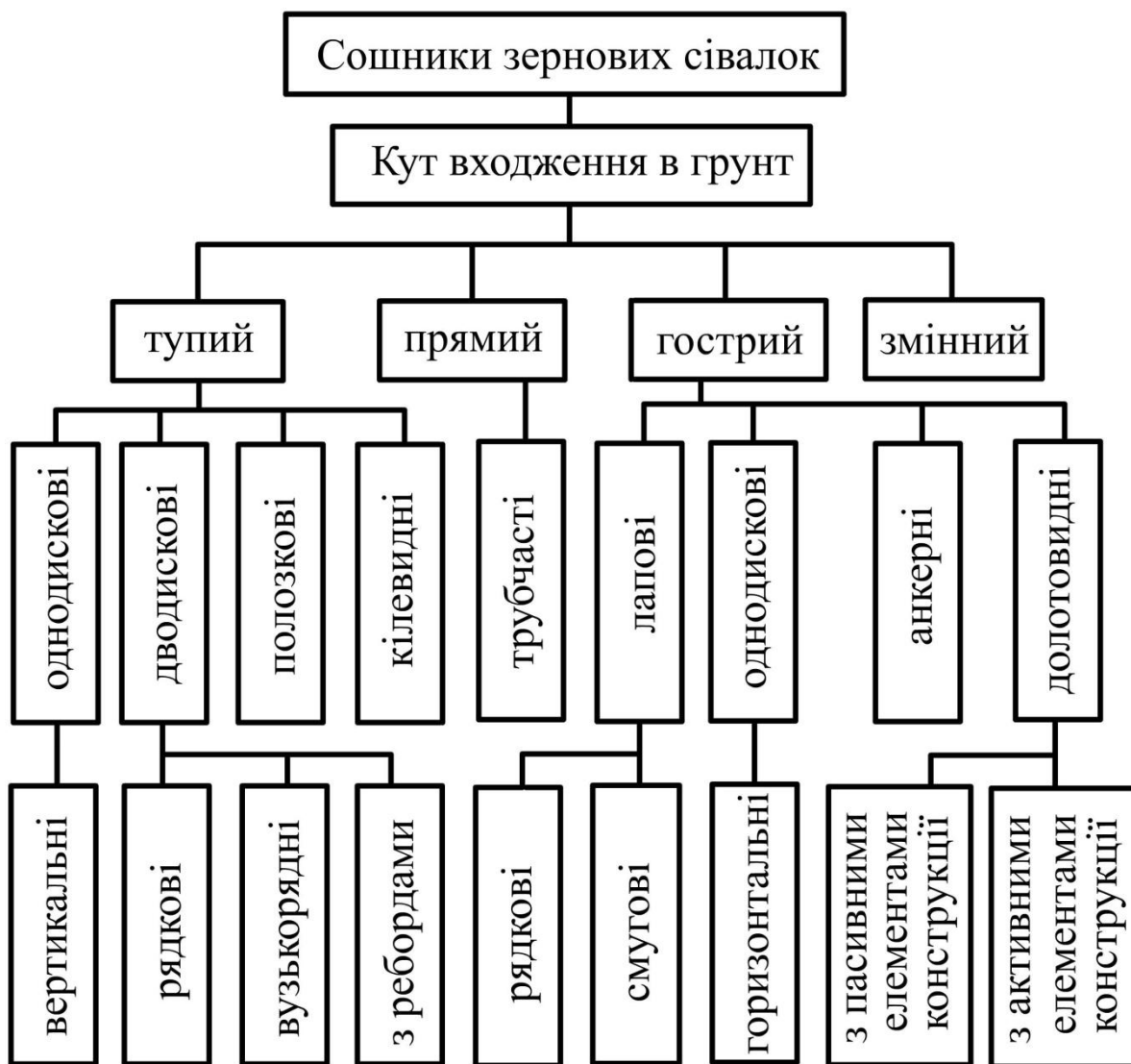


Рис. 1.3. Класифікація сошників зернових сівалок, які можуть використовуватися в сівалках для прямої сівби

Такими сошниками можна виконувати сівбу в ранні весняні строки, що особливо важливо для сівби ярих зернових. Дискові сошники менше забиваються рослинними рештками, а ступінь їх забивання багато в чому залежить від діаметра дисків. Чим вони менші тим легше проникають у ґрунт, але за наявності великої кількості рослинних решток швидше забиваються. Погано створюють ущільнене дно борозни, чим не забезпечують необхідного контакту насіння з ґрунтом і забезпечення його

вологою. Це призводить до того, що доводиться висівати на більшу глибину і виконувати післяпосівне коткування, або збільшувати тиск на прикочуючі котки, що в результаті підвищує енергетичні витрати.

Однодискові сошники з вертикальним розташуванням диска (рис. 1.4 а) працюють за принципом дискової борони, добре заглиблюються в ґрунт, краще розрізають рослинні рештки, якісніше формують борозну, в якій розміщується насіння [32, 33]. Сошник обертається в ґрунті під кутом від 3 до 7 градусів до напрямку руху, що дозволяє частково перерізати, а частково зміщувати пожнивні рештки і верхній шар ґрунту в бік. Щоб поліпшити якість розрізання верхнього шару деякі виробники сівалок використовують зубчасті та опуклі диски [64]. Переваги опуклих дисків полягають в тому, що вони потребують менше місця, відкидають менше ґрунту, а також дозволяють висівати насіння з більш вузькими міжряддями. Даний сошник не забезпечує чіткого дотримання заданої глибини загортання насіння, тому деякі виробники оснащують їх індивідуальними опорно-прикочувальними колесами (рис. 1.4 б), що хоч і дозволяє відрегулювати кожний сошник на задану глибину сівби та забезпечити високу стабільність його ходу по глибині і відповідно високоякісний посів, разом з тим ускладнює його конструкцію.

Розвиток таких типів сошників йде до збільшення розміру дисків, так як вони характеризуються більшою зносостійкістю, плавною роботою та дозволяють розвивати швидкість сівби сівалками до 20 км/год., що в свою чергу призводить до підвищення маси сівалки. Хоч самі сошники майже не зношуються і не вимагають технічного обслуговування, так як вони працюють не симетрично і постійно сприймають односторонній тиск, але з часом це може призвести до зношування навіски. У такому випадку ряди наближаються один до одного, і виникає ефект подвійного ряду. Перевагами однодискових сошників є: хороша придатність для сівби по

мульчі; простота технічного обслуговування; порівняно нескладна конструкція. Недоліками є низька надійність навісних систем та нерівномірність розподілу насіння по глибині загортання.



а)

б)

Рис. 1.4. Сошник однодисковий

Посівні секції з такими типами сошників можна використовувати для широкого діапазону варіантів сівби зернових культур, а при забезпеченні достатнього притискного зусилля на сошник, можна використовувати для прямої сівби [6, 29, 36, 94].

Найбільш універсальними і поширеними для сівби зернових вважаються дводискові сошники (рис. 1.5). Їх встановлюють на зернових, зерно-трав'яних та овочевих сівалках. Такі сошники можуть забезпечити середню якість сівби як після проведення передпосівного, так і за наявності рослинних решток після нульового та мінімального обробітків, краще працюють в умовах грубого обробітку ґрунту важкого механічного складу і підвищеної вологості.

Сошники представляють собою литий корпус з двома плоскими загостреними дисками, які сходяться в передній частині, і утворюють в плані двогранний клин. Диски що обертаються як бокові поверхні двогранного клина, за рахунок зчеплення їх з ґрунтом, розсувають ґрунт у

боки та утворюють борозну. Дводискові сошники можуть кріпитися як за допомогою радіальної так і паралелограмної підвіски. Паралелограмна підвіска забезпечує краще копіювання поверхні поля, однак збільшує вагу та ускладнює конструкцію сівалки.

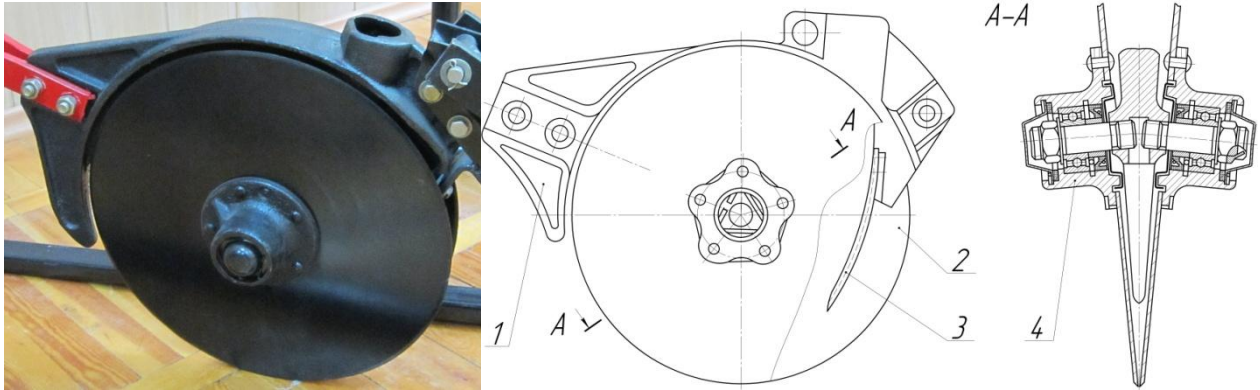


Рис. 1.5. Загальний вигляд та схема дводискового сошника:

1 – корпус; 2 – диск; 3 – напрямник; 4 – маточина

Після деякого зношування дисків утворюється W-подібний профіль дна борозни з неущільненим горбиком ґрунту по середині. Такий профіль борозни та рух насіння в порожнині між рухомими дисками створює умови контакту насіння з поверхнями дисків і під дією сил тертя викидає частину насіння на поверхню в результаті чого насіння розподіляється у борозні на різних горизонтах [82, 88, 94, 102]. При швидкості сівалки більше за 8 км/год., значна кількість насіння виноситься дисками навіть на поверхню поля, яке загортається шлейфом сівалки у поверхневому шарі ґрунту на невеликій глибині (1-2 см). На заданій же глибині загортання залишається усього 38-56 % насіння [104]. При роботі сошників у вологому ґрунті він налипає на їх поверхню, що суттєво погіршує якість сівби, (рис. 1.6).

Для покращення якості загортання насіння дводисковим сошником у свій час було проведено велику кількість досліджень та запропоновано багато конструкцій [16, 30, 45, 52, 75, 98, 113].

Для зменшення нерівномірного загортання насіння по глибині рядка, причинами якого є його попадання на внутрішні поверхні дисків, після чого воно відцентровими силами відкидається в різні боки, в тому числі і

на денну поверхню ґрунту, в нижній частині сошника між дисками було запропоновано встановити нерухому п'ятку різних конструкцій (рис. 1.7 а, б), [19, 20, 21, 109], до бічних сторін якої прикріплюються щоки, що утворюють горловину для проходження насіння до дна борозни.



Рис. 1.6. Дводисковий сошник сівалки GREAT PLAINS під час роботи у вологому ґрунті

Насіння з напрямника сошника попадає безпосередньо в міжщоківий простір і далі на дно борозни, не торкаючись рухомих дисків (рис. 1.7 а). Під час руху сівалки диски сошника обертаються, розпушуючи ґрунт в зоні між рядками і утворюючи при цьому дві борозни в місці проходження дисків і горбик посередині рядка. Встановлена в нижній частині сошника п'ятка, рухаючись всередині рядка, усуває горбок, переміщуючи його частки в борозни, утворені від проходження дисків і створюючи одну борозну з ущільненим дном. Завдяки зробленому в задній частині щік сошника вирізу насіння в борозні засипається нижніми, більш вологими шарами ґрунту. Аналогічно працює сошник наведений на (1.7 б) в задній частині, якого встановлено прутко-загортач, що загортає насіння вологим ґрунтом.

У науково-дослідному інституті ВІСГОМ було запропоновано конструкцію вдосконаленого дводискового сошника [109] (рис. 1.8). Використання в сівалках таких вдосконалених сошників призводить до ускладнення конструкції і робить неможливим їх використання для прямої сівби, так як встановлення додаткових подібних пристроїв вимагає

більшого навантаження на сошник для його заглиблення. Вони також забиваються рослинними рештками, що ускладнює їх роботу на попередньо непідготовлених полях.

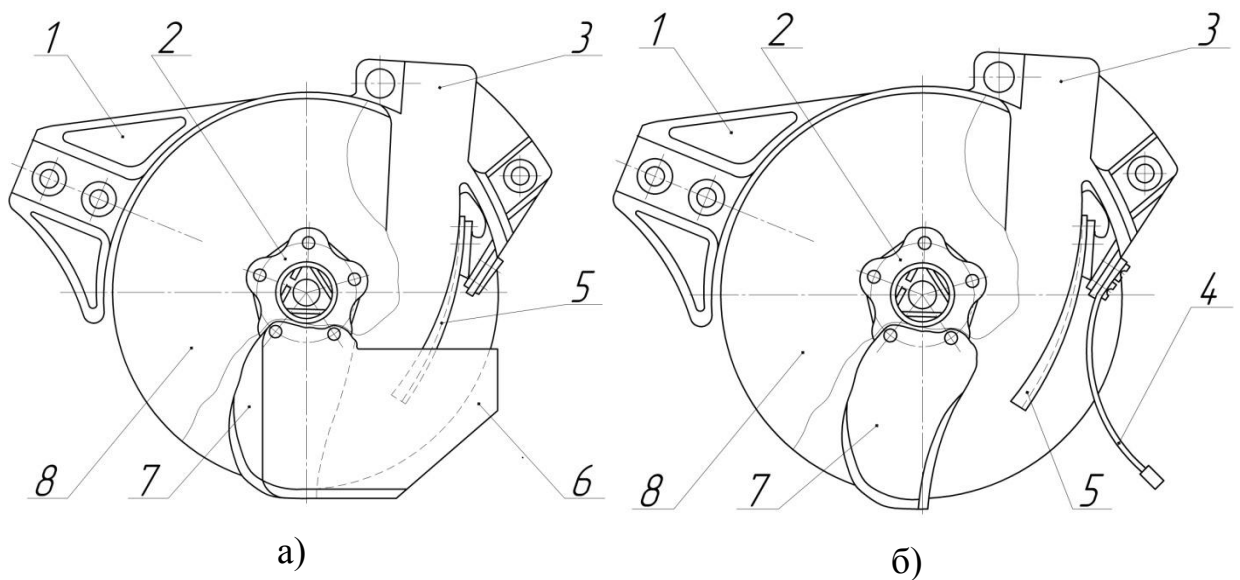


Рис. 1.7. Дводисковий сошник: а) з п'яткою та напрямником; б) з п'яткою та прутками загорточачи; 1 – корпус; 2 – маточина; 3 – лійка; 4 – прутки загорточач; 5 – напрямник; 6 – щоки; 7 – п'ятка; 8 – диски

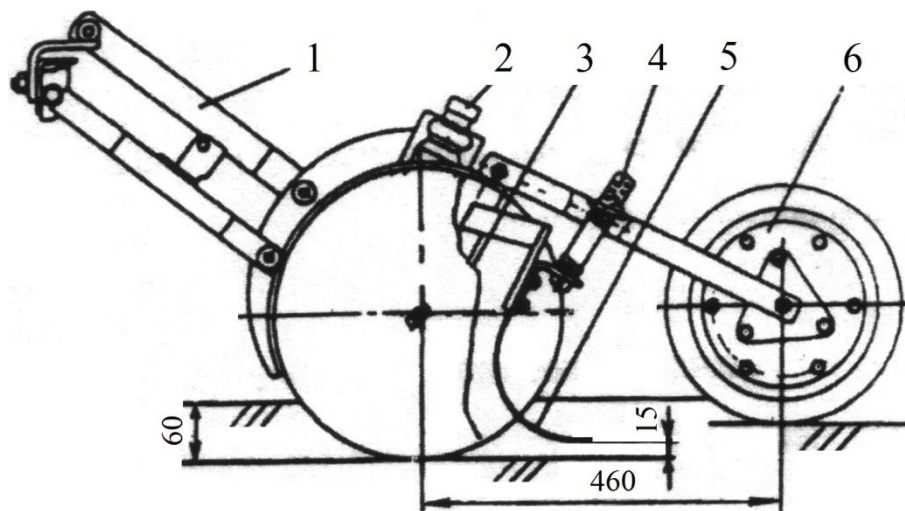


Рис. 1.8. Дводисковий сошник конструкції ВІСГОМ: 1 – паралелограмна підвіска; 2 – лійка насіннепроводу; 3 – дводисковий сошник; 4 – регулятор глибини ходу сошника; 5 – пружинний відбивач; 6 – колесо

Сошник для вузькорядної сівби (рис. 1.9) є модифікацією дводискового звичайного. Кожний його диск, встановлений в плані під

кутом 18° один до іншого і під час руху створює свою борозенку. Між дисками розміщений розподільник, який ділить потік насіння на дві частини.

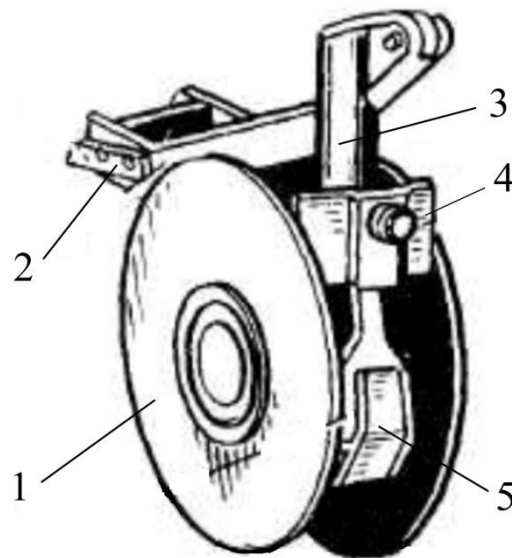


Рис. 1.9. Сошник дводисковий вузькорядний: 1 – диски; 2 – підвіска; 3 – лійка насіннепроводу; 4 – чистик; 5 – розподільник

Дводискові сошники з обмежувальними ребордами (рис. 1.10), якими регулюють глибину сівби, використовуються і у сівалках для нульових технологій. Регулювання глибини сівби за допомогою реборд дещо спрощує конструкцію посівної секції і дозволяє забезпечити більш рівномірну глибину сівби, однак для нормальної роботи сошників застосовують гідравлічну та інші системи примусового заглиблення, що значно підвищує металоємність сівалки.

Полозкові сошники [103], (рис. 1.11) обладнані ножевидним наральником, який в задній частині переходить в паралельно розташовані щоки, і клиноподібним ущільнювачем знизу. Наральник створює борозенку, щоки притримують її стінки від осипання, а п'ятка ущільнює дно. Підвищення якості загортання насіння таким полозковим сошником досягається за рахунок застосування утримуючої п'ятки, яка, руйнуючи бокові стінки клиноподібної борозни, утримує насіння на заданій глибині ущільненням більш вологим ґрунтом та застосуванням його

паралелограмної підвіски замість радіальної, що стабілізує оптимальні технологічні параметри.



а)



б)

Рис. 1.10. Дводисковий сошник з ребрами сівалки Берегиня (Росія):

а) – моделі АП-421; б) моделі АП-625

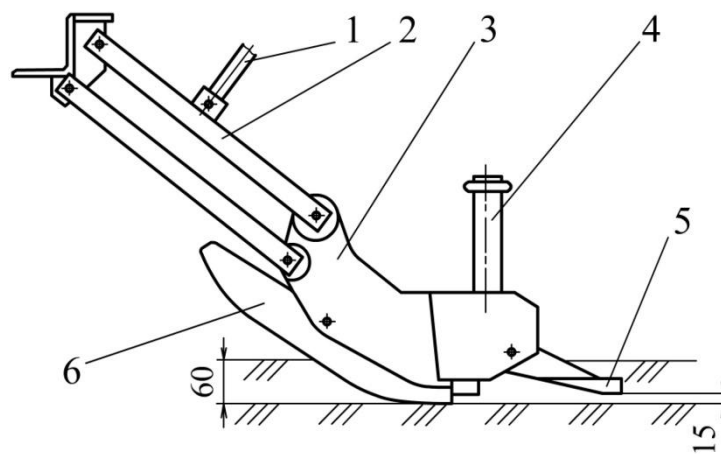
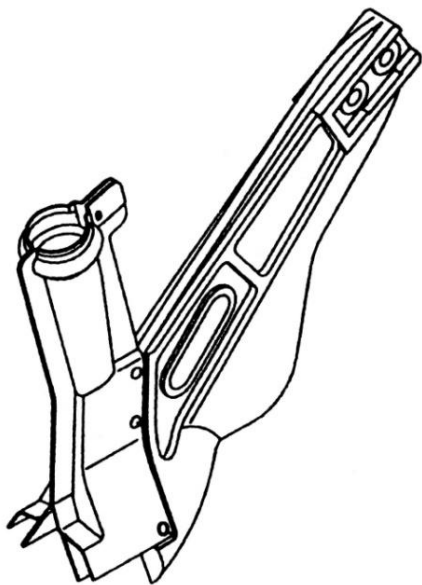


Рис. 1.11. Ползковий сошник: 1 – натискна штанга; 2 – паралелограмна підвіска 3 – корпус; 4 – лійка; 5 – утримуюча п'ятка; 6 – полозок (ніж)

Недоліками таких сошників є те, що при сівбі на полях засмічених рослинними решками, останні набиваються на полозок та корпус сошника і унеможливають його роботу. Для їх очищення необхідно застосовувати додаткові пристрої.

Кілевидні сошники (рис. 1.12 а, б), так як і дводискові, отримали широке застосування в конструкціях зернових сівалок. Вони

застосовуються в основному для сівби насіння на невелику глибину і використовуються в зонах недостатнього зволоження. В класичному виконанні кілевидні сошники як правило, встановлюються на радіальній підвісці [95].



а)



б)

Рис. 1.12. Сошник кілевидний: а) сівалки СЗ-5,4;

б) сошник WS сівалки фірми AMAZONE

На відміну від дискових сошників, кілевидні стабільніше витримують глибину загортання насіння, якісніше формують борозну, прості, недорогі, легкі, не потребують ретельного обслуговування. Завдяки тупому куту входження їх у ґрунт створюють U-подібне ущільнене дно борозни за рахунок дії сил наральника на ґрунт. У результаті вологий шар ґрунту не вивертається на поверхню і не висушується, а дно борозни ущільнюється. Це забезпечує підтягування вологи з нижніх шарів ґрунту до насіння, рівномірне розміщення насіння по глибині і завдяки цьому забезпечує хорошу польову схожість насіння. Їх встановлюють на зерно-тукотрав'яних сівалках для сівби трав, а також вони можуть бути використані і для сівби зернових культур, глибина загортання насіння яких не перевищує 4 см. Кілевидні сошники добре працюють на легких за механічним складом ґрунтах. На важких ґрунтах заглибити такі сошники

на глибину 6-8 см дуже важко, а на засмічених полях такі сошники переміщуються над рослинними рештками і практично не працюють.

Трубчасті сошники (рис. 1.13) встановлюють на зернових сівалках для сівби по стерні і ґрунтах, які піддаються вітровій ерозії. Складається з трубки і наральника. Під час роботи сошник вібрує, що сприяє його самоочищенню. Глибина загортання насіння не завжди відповідає вимогам. При відповідній доробці може працювати на полях засмічених рослинними рештками.

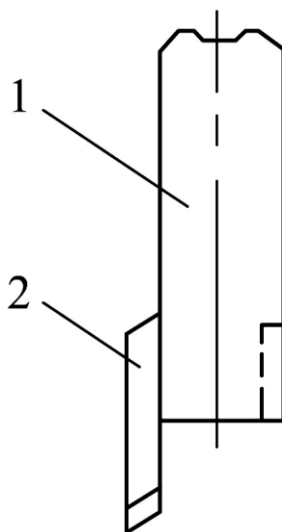


Рис. 1.13. Сошник трубчастий: 1 – труба; 2 – наральник

Лапові сошники застосовують для висіву насіння зернових культур по необробленій стерні на легких ґрунтах, схильних до вітрової ерозії. Ними одночасно можна розпушувати ґрунт та знищувати бур'яни як культиваторами, виконувати сівбу і вносити мінеральні добрива. Розрізняють сошники для рядкового та безрядкового смугового і суцільного посівів. Лаповий сошник [108] (рис.1.14) для смугової сівби зернових по стерні при переміщенні в ґрунті підрізає скибу і спрямовує на поверхню лап. В цей час з бункерів по насіннєтукопроводах надходить посівний матеріал і потрапляє на розсіювач насіння, який і розміщує насіння у вигляді смуги. Після цього розпушений лапою шар ґрунту прикриває борозну з насінням.

Розсіювач рівномірно розподіляє насіння по лівому і правому боках смуги, але при цьому незасіяною лишається центральна смужка борозни, що погіршує якісні показники смугової сівби. Також недоліком лапового сошника є погіршення висіву насіння, яке має високий коефіцієнт пружності. При падінні з насіннєпроводу на розсіювач таке насіння хаотично перерозподіляється в борозні, в результаті чого погіршується рівномірність висіву.

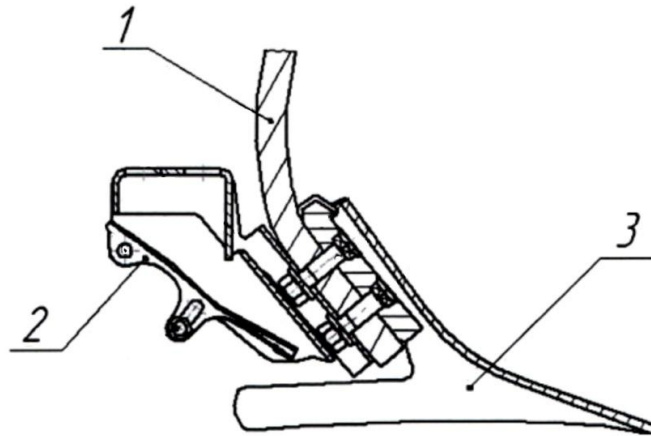


Рис. 1.14. Лаповий сошник для смугової сівби зернових культур:

1 – стояк; 2 – розсіювач 3 – лапа;

Лаповий сошник для безрядкової сівби (рис. 1.15) [51] містить кронштейн в передній частині якого встановлений насіннєтукотрубопровід, що має нахил вперед і виконаний у формі еліпса. До нижньої частини насіннєтукотрубопровода прикріплена пластина, до якої в свою чергу кріпиться стрілочаста лапа і вставка, на якій по дузі кола закріплений пруток. У нижній частині стрілочасті лапи встановлено розподільник насіння. Так як пруток 4 закріплений в передній частині лапового сошника зігнутий по дузі і винесений за межі стояка назад, то передбачається, що рослинні рештки, які потрапляють на нього повинні проходити по дузі і відводитися за межі робочої зони сошника, але нахил прутка вперед породжує сумнів у досягненні задекларованої мети.

Одним із недоліків лапових сошників є утворення незакритої ґрунтом борозни з насінням після його проходження. Причому з підвищенням швидкості

ці борозни збільшуються, а в певних випадках доходять до глибини ходу сошника, що неприпустимо за агротехнічними вимогами.

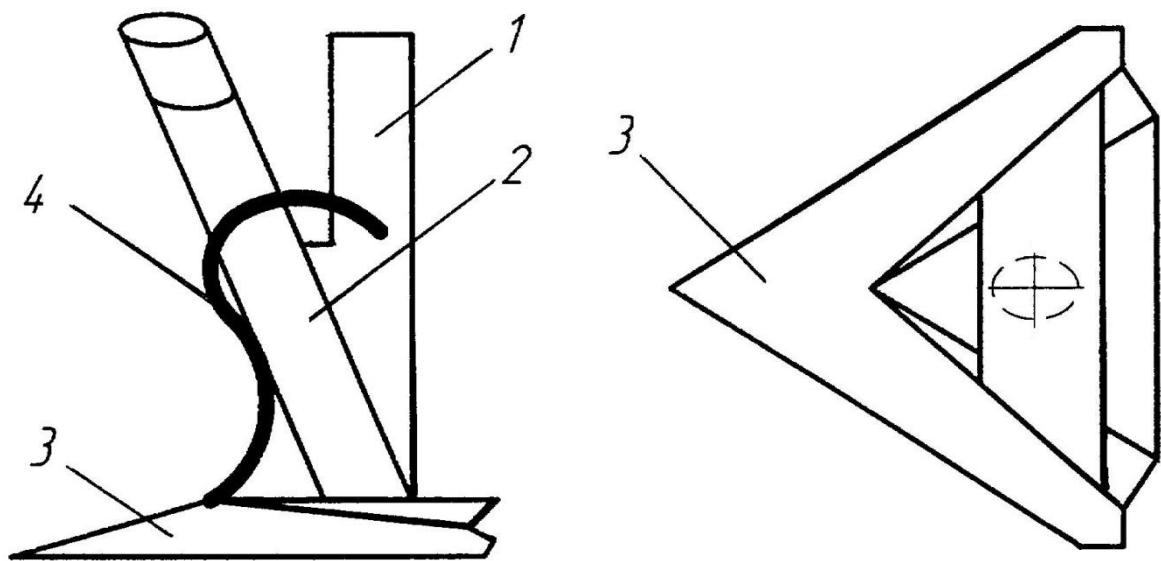


Рис. 1.15. Лаповий сошник для безрядкової сівби: 1 – кронштейн;
2 – насіннепровід; 3 – стрілочаста лапа; 4 – стеблевідвід

Як варіант вирішення даної проблеми є спроба встановлення на крилах лапи підкрилків (рис. 1.16), які призначені для спрямування до центральної частини від країв крил шару ґрунту. На практиці ж між підкрилком і крилом лапи налипає ґрунт і бажаного ефекту не досягається [111].

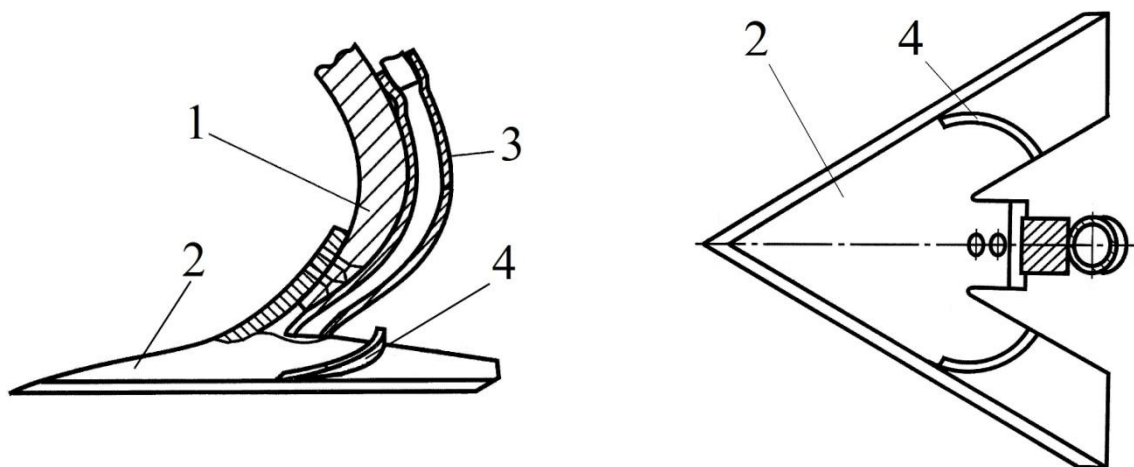


Рис. 1.16. Лаповий сошник: 1 – стояк; 2 – стрілочаста лапа;
3 – насіннепровід; 4 – підкрилки

Горизонтальний дисковий сошник [22] (рис. 1.17 а, б) містить закріплений на рамі з можливістю обертання на підшипнику стояк-насіннепровід з каналом для проходу насіння та туків.

На нижній поверхні диска закріплений конусоподібний розсіювач насіння, який з каналом утворюють кільцевий зазор для проходу насіння між конусоподібною поверхнею розсіювача і торцевою поверхнею стояка. Дисковий сошник додатково забезпечений розподільними елементами, які закріплені на нижній поверхні диска навколо розсіювача насіння. Таке конструктивне виконання дозволяє забезпечити рівномірне внесення добрив чи насіння і добрив по всій ширині оброблюваної смуги.

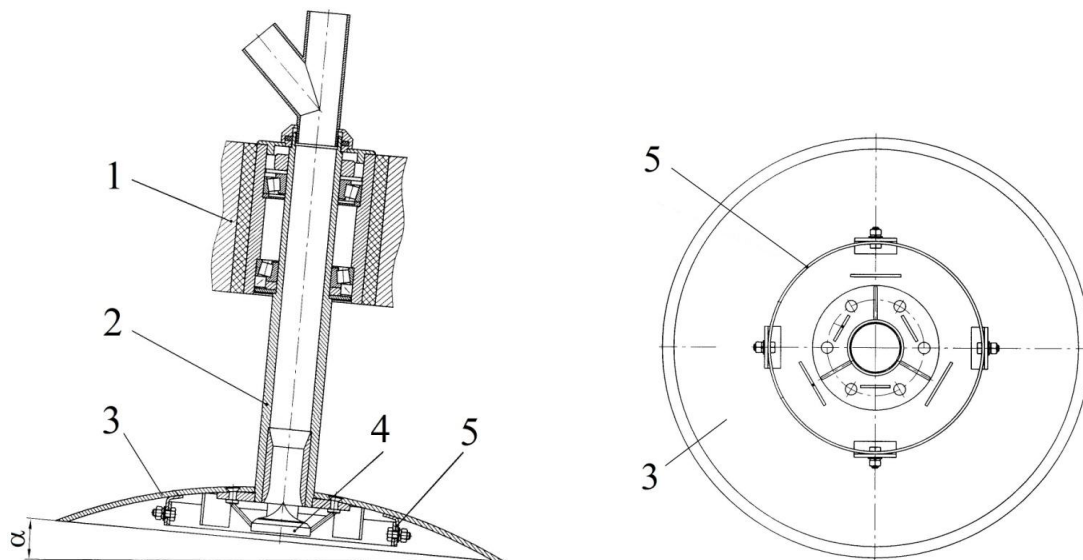


Рис. 1.17. Однодисковий сошник з горизонтальним розташуванням диска:

- 1 – кронштейн кріплення сошника до рами; 2 – стояк-насіннепровід;
3 – диск; 4 – розсіювач; 5 – обмежувач ширини розсіювання насіння

Незважаючи на недоліки, лапові сошники і з горизонтальним розташуванням диска можна добре застосовувати для сівби зернових культур в технологіях мінімального обробітку, а в нульових вони практично не придатні, так як одночасно із сівбою виконується поверхневий обробіток.

З моменту переходу на мінімальну технологію і по сьогоднішній день на полях працюють і є найбільш поширеними сівалки з сошниками

анкерного типу з так званими “сошниками Андерсена” (рис. 1.18 а) [32] та анкерна сівалка AIRSEEDER CO “Дует”, яка виконує підготовку ґрунту, сімбу та внесення добрив за один прохід обладнується модернізованими сошниками [64], передня частина яких дообладнується спеціальним наральником з гострим кутом входження в ґрунт та додатковими крильцями (рис. 1.18 б).

Сівалки, оснащені такими анкерними сошниками, можуть бути використані в технологіях мінімального обробітку ґрунту. Такі сошники нечутливі до післяжнивних рослинних решток на поверхні поля, підтримують рівномірну глибину загортання насіння на різних ґрунтах і обробляють зону рядка.



а)



б)

Рис. 1.18. Анкерні сошники: а) "сошник Андерсена";
б) сошник сівалки AIRSEEDER CO “Дует”

Наральникові та анкерні сошники відрізняються один від одного кутом входження в ґрунт. Якщо перші використовуються для створення борозни з ущільненим дном (сівба в сухий ґрунт), то анкерні - для утворення борозни з пухкими стінками та дном (сівба у вологий ґрунт).

Як вважають деякі дослідники [64] найбільш досконалими є долотоподібні сошники. Маючи невеликі розміри долотоподібний сошник

добре заглиблюється в ґрунт, а паралелограмна підвіска з копіювальними колесами забезпечує оптимальну глибину загортання насіння і стабільність ходу посівних секцій протягом часу роботи сівалки. Такі сошники розпушують навіть сухий твердий ґрунт і можуть працювати при наявності на поверхні поля шару рослинних решток без додаткового обробітку. Тиск сошника на ґрунт суттєво не впливає на його заглиблення, так як він самозаглиблюється. Враховуючи переваги таких типів сошників і простоту їх конструкції та можливість використання в різних умовах забур'яненості вони отримали широке розповсюдження як на сівалках вітчизняного так і закордонного виробництва (рис. 1.19). Оригінальну і досить просту конструкцію мають сошники для прямої сівби сівалками СКП-2,1 [63] (рис. 1.19 а).



а)



б)



в)

Рис. 1.19. Долотовидні сошники сівалок: а) СКП-2,1 (Україна, Росія); б) AMAZONE Primera DMC (Німеччина); в) Contour фірми Morris (США)

Вузькі сошники з гострим кутом входження в ґрунт створюють невеликий питомий тяговий опір під час роботи та мінімальний тиск на ґрунт.

Недоліками таких сошників є те, що при надмірній забур'яненості поля їх стійки з часом забиваються рослинними рештками, що порушує агротехнічні вимоги до сівби. Для підвищення довговічності долота

сошників застосовують порівняно дорогі матеріали (наплавленням карбідної пластини на корпус та долото сошника та ін.), що значно впливає на вартість сівалки.

Розробка ряду конструкцій долотоподібних сошників [103] з активними роторними очисниками стояка від рослинних решток, дещо вирішують проблему сівки при наявності великої кількості рослинних решток, проте складність приводу ставить під сумнів їх широке застосування.

Розроблено конструкції сошників із змінним кутом входження в ґрунт [103, 110, 112], що дозволяє змінювати його без додаткового переобладнання (рис. 1.20). Хоч їх і можна застосовувати для прямої сівки, актуальним залишається питання відведення рослинних решток від стояка.

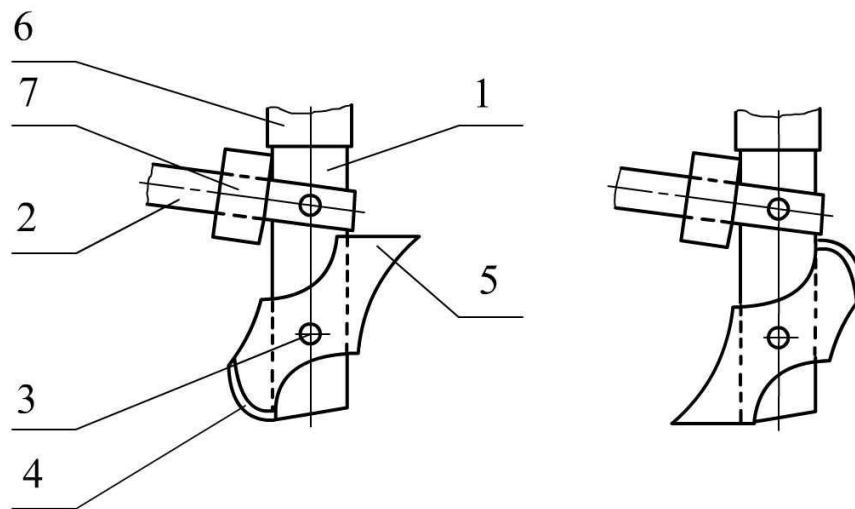


Рис. 1.20. Сошник із змінним кутом входження в ґрунт: 1 – трубчастий корпус; 2 – повідки; 3 – вісь; 4 – наральник з тупим кутом; 5 – анкерна частина з гострим кутом; 6 – насіннепроводи; 7 – вантажі

Оцінкою можливості використання сівалки в тих чи інших умовах науковці УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого [64] вважають може бути узагальнюючий параметр по якому можна оцінити сівалку, і встановити для якої системи обробітку ґрунту її краще використовувати – це зусилля, з яким сошник притискається до поверхні, на якому він виконує сібку (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Оцінка можливості використання сівалки

Призначення сіви	Притискне зусилля
за технологіями, які передбачають якісний передпосівний обробіток (традиційні)	до 50 кг
за мінімальних технологій, які допускають наявність рослинних решток на поверхні поля, (mini-till)	50-100 кг
безпосередньо в необроблений ґрунт, (no-till)	більше 100 кг

Такі значення притискного зусилля справедливі для сошників з тупим кутом входження в ґрунт, а для сошників з гострим кутом входження в ґрунт за умови виконання самозаглиблення вони не матимуть вирішального значення.

1.2.2. Аналіз основних типів сівалок для прямої сіви зернових культур

Найбільшого поширення на сьогоднішній день на ринку сільськогосподарської техніки України отримали сівалки таких фірм як “John Deere”, “Great Plains” США, “Super Walter”, “Giorgi”, Аргентина, “Vaderstad-Verken”, Швеція, “Sulky”, “Kunh”, Франція, “Gaspardo”, Італія, “Poettinger”, Австрія, “Horsch”, “Amazone”, Німеччина, ПАТ "Червона Зірка", ПАТ "Галещина Машзавод", "Агро-Союз", "Українська аграрна техніка" (Україна) та ін.

Аналіз конструкцій сівалок (табл. 1.1.) показує, що досить високу питому металоємкість мають сівалки обладнані дисковими робочими органами з тупим кутом входження в ґрунт (рис. 1.21). Збільшення ширини захвату таких сівалок можна досягти тільки за рахунок збільшення маси. При цьому питома металоємність практично залишається на одному рівні і сягає більше одної тонни на метр ширини захвату. Кращі показники мають сівалки з гострим кутом входження в ґрунт.

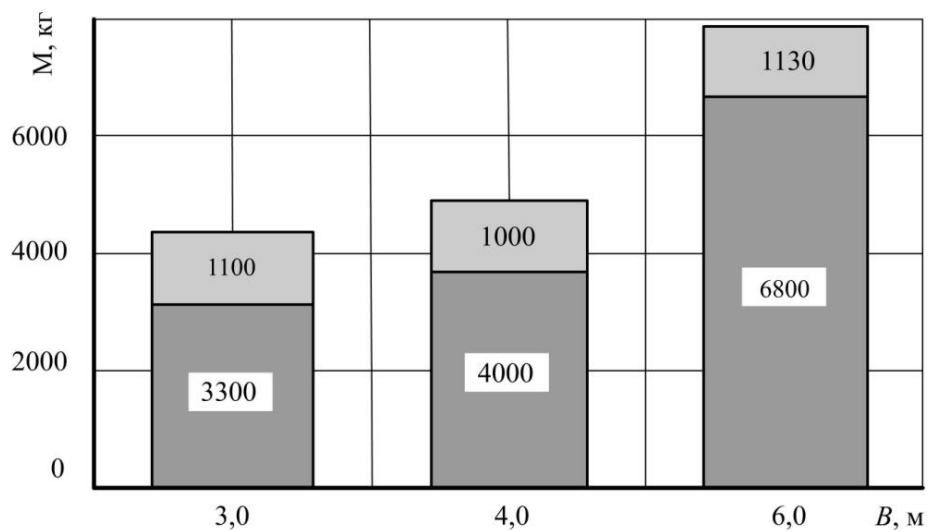
Таблиця 1.1

Характеристика основних типів сівалок для прямої сівби зернових культур

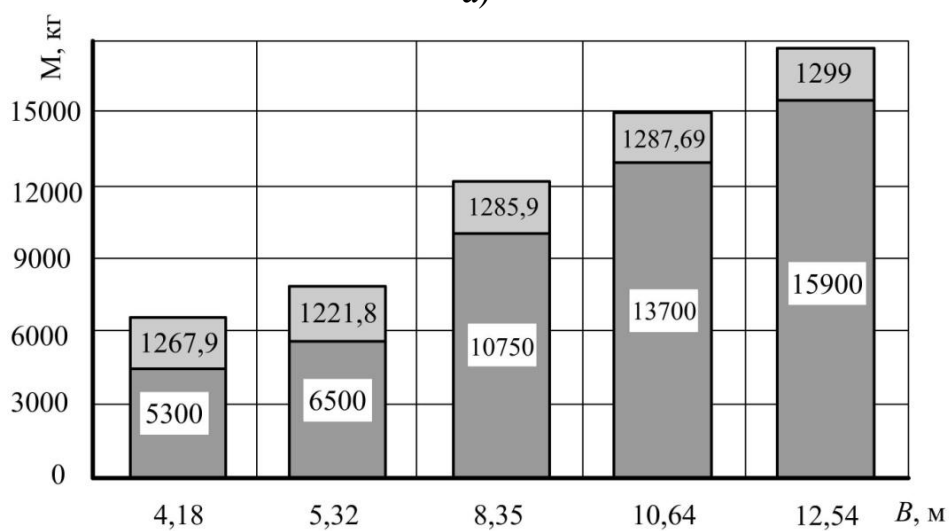
№ п/п	1	2	3	4
Країна, виробник	1	2	3	4
Модель сівалки	3	Сіріус-10	6 CO	12 CO
Ширина захвату, м	4	10,0	6,0	12
Вага сівалки, кг	5	13260	4850	11050
Тип сошників	6	долотоподібні, лапові Т-подібні анкерні	анкерні Дуэт, Соло, стрілочага лапа Альфа	анкерні Дуэт, Соло, стрілочага лапа Альфа
Ширина міжряддя, мм	7	254	250	250
Робоча швидкість, км/год	8	8...10	8...15	8...15
Необхідна потужність енергозасобу кВт/л.с.	9	-/300	110/150	183/250
Розташування бункера	10	попереду сівалки	попереду сівалки	попереду сівалки
Габаритні розміри у робочому стані, мм	11	13800	7900/9300/99500	-/11000/11600
довжина	11	3920	6000	12000
ширина	12	2230	3500	4100
висота	13	1800		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	5											
США, JOHN DEERE	Україна, ПАТ "Галесина машзавод"	Україна "Українська аграрна техніка"	США, JOHN DEERE	Україна, ПАТ "Галесина машзавод"	Україна "Українська аграрна техніка"	США, JOHN DEERE	Україна, ПАТ "Галесина машзавод"	Україна, ПАТ "Галесина машзавод"	Україна, ПАТ "Галесина машзавод"	Україна, ПАТ "Галесина машзавод"	Україна, ПАТ "Галесина машзавод"	Україна, ПАТ "Галесина машзавод"
730	1895	сівалка-культиватор Партнер 7,5	модель 1840	МВЗ-4,5 "Меланія"	сівалка-культиватор Партнер 7,5	модель 1840	МВЗ-4,5 "Меланія"	МВЗ-4,5 "Меланія"	МВЗ-4,5 "Меланія"	МВЗ-4,5 "Меланія"	МВЗ-4,5 "Меланія"	МВЗ-4,5 "Меланія"
10,9	10,9		18,1	4,5	7,5	9,3	10,6	12,3	15,8			
6305	12537		10148	4220	4800	6399	6954	7518	9636			
двобрикові	однорічні	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи	стрілчасті лапи
195	254	24-26 см смуга розсіву	38,1			38,1	38,1	38,1	38,1			
7...10	8...12	7-12	8...12	7...12	7-12	8...12	8...12	8...12	8...12			
250...290	265...375	трактор 3,0	-/530	трактор 3,0	трактор 3,0	-/290	-/340	-/380	-/480			
попереду сівалки	позадку сівалки	попереду сівалки	позадку сівалки	позадку сівалки	попереду сівалки	позадку сівалки	попереду сівалки	позадку сівалки	позадку сівалки	попереду сівалки	позадку сівалки	попереду сівалки
7100	8800	9300	7060	6700	9300	7060	7060	7060	7060			
10900	10900	7500	18100	4480	7500	10600	10600	12300	15800			
4700	4550	2540	5,10	2420	2540	3,66	4,37	5,10	5,10			

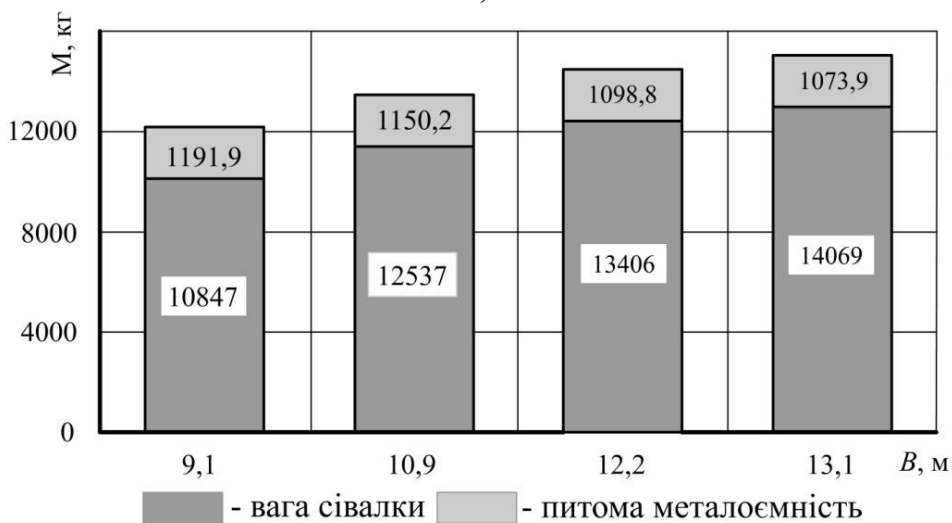
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
10	США, Great Plains	NTA 3510	10,6	10569	дводискові з ножем Turbo Coulter	195	8...10	290	попереду сівалки	10620	10670	3800		
11	Німеччина, AMAZONE	Primera DMS 9000	9,0	8500	долотовидні AMAZONE	187	10...15	180/133	позаду сівалки	-	9000	-		
		Primera DMS 602	6,0	5500		187	10...18	270/200		-	6000	-		
12	Аргентина, Giorgi	D-10	4,18	5300	дисковий	0,19	8...10	100	на рамі сівалки	3800	4180	1820		
			5,32	6500				130		3800	5320	1820		
			8,36	10750				200		3800	8360	1820		
			10,64	13700				260		3800	10640	1820		
			12,54	15900				320		3800	12540	1820		
13	Франція, SULKY	EASYDRILL	3,0	3300	дисковий	16,6	8...10	90	на рамі сівалки	2,75	3050	1750		
4,0		4000	120	4050				1750						
6,0		6800	дисковий	16,6				8...10			на рамі сівалки	2,75	60,70	1750
14														



а)



б)



в)

Рис. 1.21. Зміна питомої металоємності та маси сівалок обладнаних дисковими сошниками залежно від ширини захвату B : а) – SULKY "Easydrill"; б) – D-10 "Giorgi"; в) John Deere 1895

При порівняно низькій питомій металоємності вони забезпечують виконання агротехнічних вимог, так як їх вага не має вирішального значення на притискне зусилля. Особливої уваги по простоті конструкції заслуговують сівалки з сошниками типу стрілочатих культиваторних лап (рис. 1.22), які добре зарекомендували себе під час сівби на мало засмічених полях.

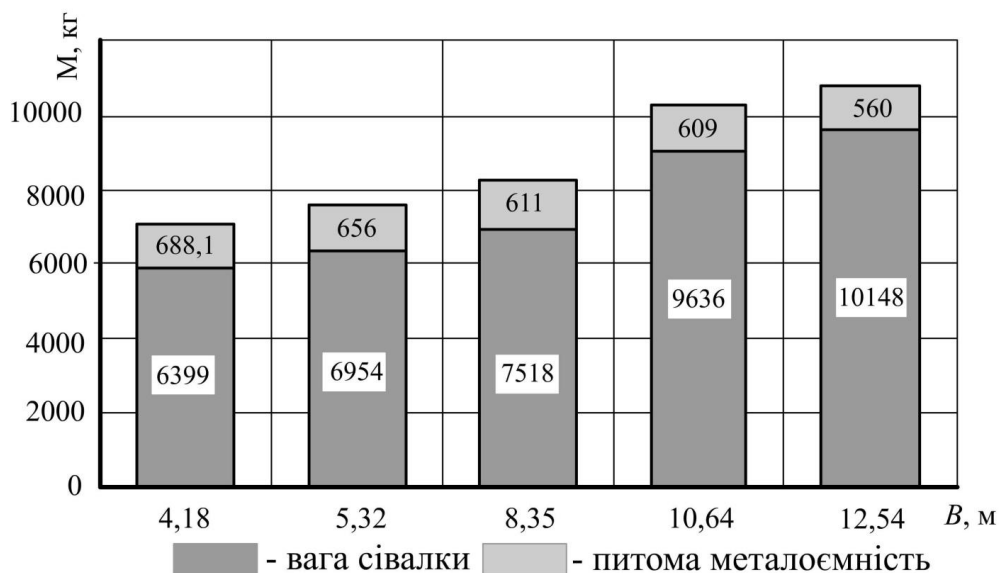


Рис. 1.22. Зміна питомої металоємності та маси сівалок модельного ряду John Deere 1840, обладнаних сошниками типу стрілочатих лап залежно від ширини захвату B

Значно кращі показники при роботі на засмічених полях мають сівалки з анкерними і долотовидними сошниками (рис. 1.23). Для забезпечення нормальної їх роботи при наявності на поверхні поля великої кількості рослинних решток встановлюють диски різних конструкцій, що призводить до ускладнення конструкції та більш високої питомої металоємності.

Проблемою широкого впровадження сошників з гострим кутом входження в ґрунт є забивання стояків рослинними рештками, вирішення цієї проблеми відкриє шлях до суттєвого зниження металоємності посівних

машин, а отже і негативного їх впливу на основний засіб сільськогосподарського виробництва.

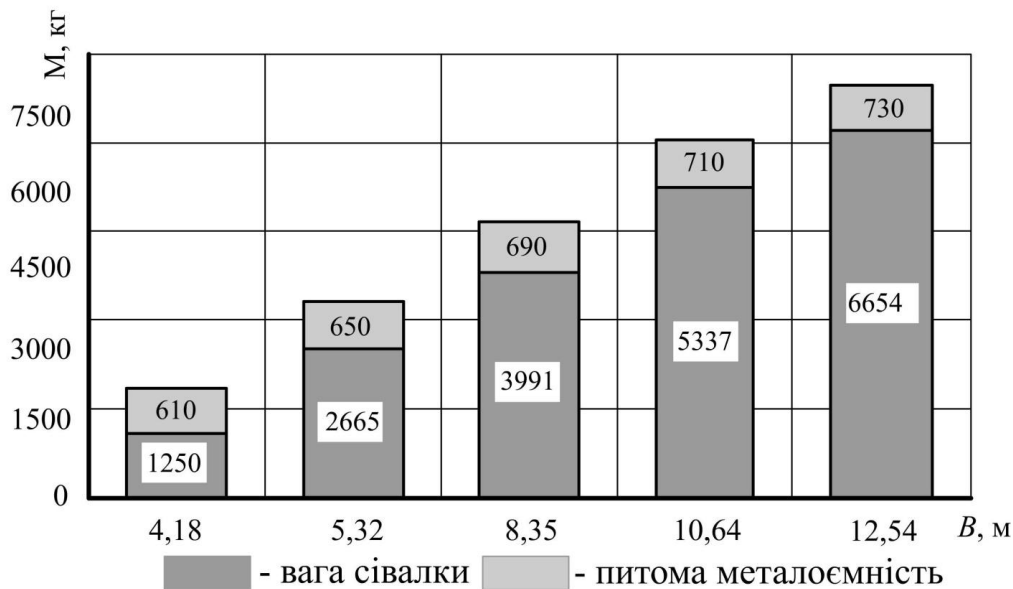


Рис. 1.23. Зміна питомої металоємності та маси сівалки СТС-2,1, обладнаної анкерними сошниками залежно від ширини захвату, B

1.3. Аналіз теоретичних передумов обґрунтування конструкції сошника для прямої сівби зернових культур

Наявність на поверхні поля під час сівби великої кількості післяжнивних рослинних решток пред'являє особливі вимоги до загортаючих робочих органів сівалок для прямої сівби зернових культур. Тому, саме дослідженню і розробці таких робочих органів сьогодні, як і раніше, приділяється багато уваги.

Великий вклад в розвиток наукових досліджень загортаючих робочих органів посівних машин і створення на їх основі нових конструкцій сівалок як для традиційних, так і новітніх технологій сівби в свій час внесли Летошнєв М.М., Горячкін В.П., Пігулевський М.Х., Погорілий Л.В., Василенко П.М., Карпенко О.М., Сабліков В.М., В.Ю. Комаристов, Сисолін П.В., Шмат С.І., Морозов І.В., Аніскевич Л.В., Бакум М.В. та ін.

Наукові основи удосконалення взаємопов'язаних технологічних робочих параметрів сошників різних типів розроблені Морозовим І.В. [70], дозволили створити сімейство універсальних, комбінованих і спеціальних сошників для сівби зернових культур, здатних виконувати протиерозійний висів і створювати умови для захисту ґрунту від ерозії.

Проведений огляд наукових досліджень показав, що на цей час не достатньо обґрунтовано наукові підходи до розробки конструкцій сошників для прямої сівби зернових культур в умовах наявності на поверхні поля великої кількості післяжнивних рослинних решток. Вирішення проблеми в багатьох випадках здійснюється створенням надто складних конструкцій сошників з активними робочими органами для очищення стояків [103], що в результаті призводить до значного підвищення енергетичних витрат та підвищення питомої металоємності.

Для обґрунтування конструкції сошника для прямої сівби зернових культур розглянемо робочий процес його роботи, який складається з трьох фаз: утворення борозни, розміщення в ній насіння, часткове або повне загортання насіння ґрунтом. Найбільш цікавим є етап утворення борозенки, який залежить переважно від кута α його входження у ґрунт.

Найбільш доступно вплив форми сошника на умови його роботи розглянуто на основі схеми дії сил на сошник [88].

Частинка ґрунту m буде рухатися вниз по сошнику з тупим кутом α входження в ґрунт за наступної умови (рис. 1.24 а):

$$\alpha - \frac{\pi}{2} \geq \varphi, \text{ або } \alpha \geq \varphi + \frac{\pi}{2}. \quad (1.1)$$

Аналіз рівняння показує, що частинки ґрунту вдавлюються сошником, при цьому сошник виглиблюється із ґрунту, що не забезпечує необхідну рівномірність глибини висіву насіння. Рівномірність глибини ходу сошника забезпечують додатковими пристроями, що призводить в результаті до підвищення маси сівалки вцілому.

Частинка ґрунту m буде рухатися вгору по сошнику з гострим кутом α входження в ґрунт за наступної умови (рис. 1.24 б):

$$\frac{\pi}{2} - \alpha \geq \varphi, \text{ або } \alpha \geq \frac{\pi}{2} - \varphi. \quad (1.2)$$

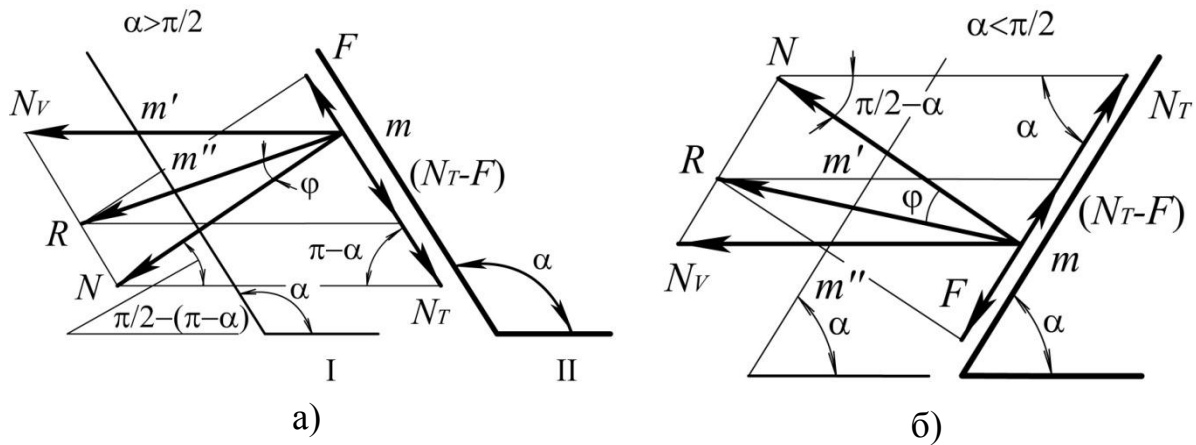


Рис. 1.24. Схема взаємодії із ґрунтом сошника з тупим а) і гострим б) кутом входження в ґрунт α : φ - кут тертя ґрунту по поверхні сошника, F - сила тертя, R - сила опору ґрунту, N - сила реакції опору ґрунту, m - маса частинки ґрунту

За такого кута підйому сошника частинки ґрунту прямують угору вздовж його лобової грані, поверхня ґрунту розпушується, а сошник самозаглиблюється в ґрунт без додаткових притискних пристроїв, що виключає необхідність ускладнювати його конструкцію та конструкцію сівалки. Суттєвим недоліком роботи сошників з гострим кутом входження в ґрунт є накопичення на їх стояках рослинних решток.

Взаємодію сошника з гострим кутом входження в ґрунт на полі з великою кількістю післяжнивних рослинних решток можна розглядати як роботу грабельного зуба поперечних граблів для згрібання сіна. Дана задача розглянута в роботі І.А. Долгова [23]. На першому етапі рослинні рештки піднімаються по грабельному зубові до критичного кута $\alpha_{кр.}$, (рис. 1.25).

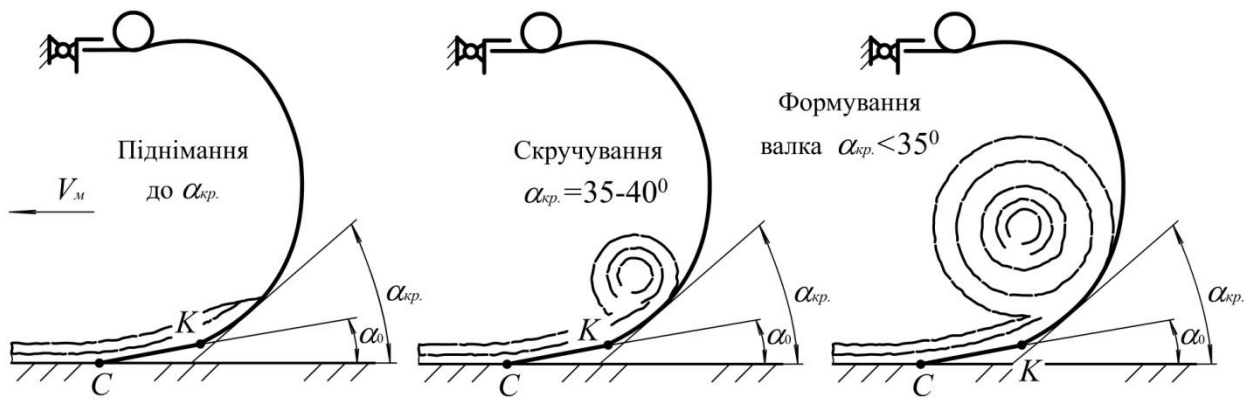


Рис. 1.25. Етапи формування валка поперечними граблями:

СК – прямолінійна ділянка грабельного зуба, $\alpha_{кр.}$ – критичний кут

підйому рослинних решток, α_0 – кут нахилу прямолінійної ділянки

Критичним називається кут між дотичною до грабельного зуба в точці максимального підйому і ґрунтом. На другому етапі, якщо критичний кут підйому не менше $35^\circ - 40^\circ$, то починається звертання шару і скочування його вниз. Якщо сила опору підйому не дозволяє піднятися шару до критичного кута $\alpha_{кр.} = 35^\circ - 45^\circ$ (із-за значної кількості рослинних решток, нераціональної геометрії зуба, підвищеної вологості) то шар рослинних решток накопичується перед зубом і звертання його не виконується. Якщо величина критичного кута дозволяє шару скручуватися, то настає третій етап формування валка. З точки зору роботи сошника цікавими є перший та другий етапи. Із розгляду процесу формування валка необхідно в початковий момент підняти шар до максимально можливого кута α та відвести від стояка

В процесі згрібання на зуб граблів з боку рослинних решток, що згрібаються, діють сили (рис. 1.26).

Умова руху рослинних решток вгору по зубові:

$$P \cdot \cos \alpha - G \cdot \sin \alpha \geq F. \quad (1.3)$$

Нормальна сила, з якою рослинні рештки притискаються до зуба:

$$N = P \cdot \sin \alpha + G \cdot \cos \alpha + \frac{m \cdot V^2}{\rho}, \quad (1.4)$$

де V - швидкість руху рослинних решток по зубові, ρ - радіус кривизни зуба.

При досягненні $\alpha = \alpha_{кр.}$ сила $N = 0$, так як рослинні рештки починають падати вниз і скручуватися. Тоді з виразу (1.4) слідує, що:

$$P \cdot \sin \alpha_{кр.} + G \cdot \cos \alpha_{кр.} + \frac{m \cdot V^2}{\rho} = 0. \quad (1.5)$$

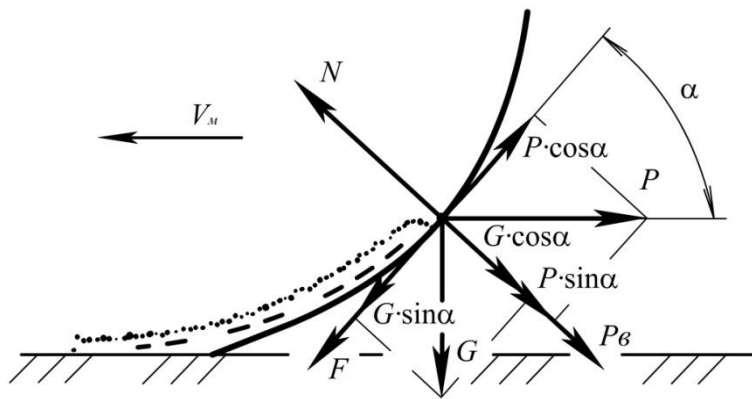


Рис. 1.26. Схема сил, що діють на грабельний зуб при згрібанні рослинних решток: P - сила опору сїна згрібанню, G - вага рослинних решток, F - сила тертя, $P_с$ - відцентрова сила

Розділивши кожен член виразу (1.6) на G і позначивши $A = \frac{m \cdot V^2}{G \cdot \rho}$ і

$B = \frac{P}{G}$, отримують:

$$\cos^2 \alpha_{кр.} + A = -B \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_{кр.}};$$

$$\cos^2 \alpha_{кр.} + 2A \cdot \cos \alpha_{кр.} + A^2 - B^2 + B^2 \cdot \cos^2 \alpha_{кр.} = 0;$$

$$(1 + B^2) \cdot \cos^2 \alpha_{кр.} + 2A \cdot \cos \alpha_{кр.} + (A^2 - B^2) = 0.$$

Вирішивши це рівняння остаточно отримують:

$$\cos \alpha_{kp.} = \frac{A \pm \sqrt{A^2 - (A^2 - B^2) \cdot (1 + B^2)}}{1 + B^2}. \quad (1.6)$$

Робоча ділянка зуба є комбінацією з нижньої прямолінійної ділянки довжиною близько 100 мм і дуги кола. Кут нахилу прямолінійної ділянки *СК* обирають з умови ковзання рослинних решток на цій ділянці (рис. 1.27).

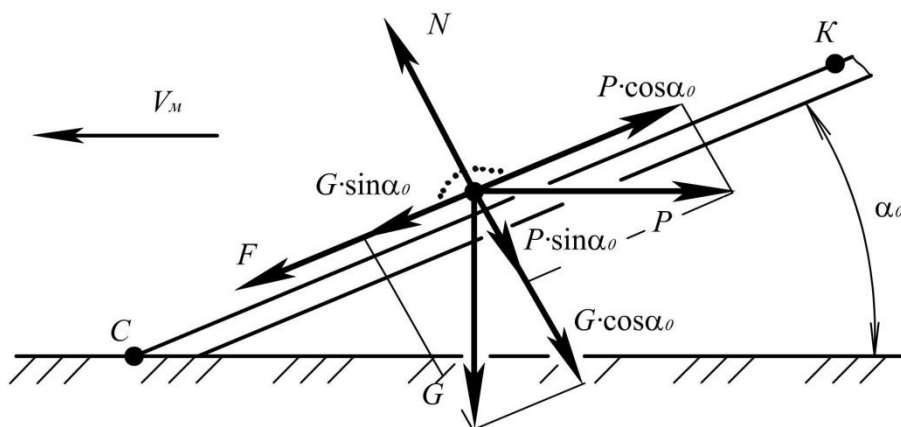


Рис. 1.27. Схема сил, що діють на зуб на прямолінійній ділянці

$$P \cdot \cos \alpha_0 > G \cdot \sin \alpha_0 + F,$$

або остаточно:

$$P \cdot \cos \alpha_\rho > G \cdot \sin \alpha_\rho + \operatorname{tg} \varphi \cdot (G \cdot \cos \alpha_\rho + P \cdot \sin \alpha_\rho),$$

де φ - кут тертя рослинних решток.

Розділивши обидві частини нерівності на $P \cdot \cos \alpha_0$

$$1 > \frac{G}{P} \cdot \operatorname{tg} \alpha_o + \frac{G}{P} \cdot \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha_o.$$

$$\frac{G}{P} = b, \text{ тоді } \operatorname{tg} \alpha_o \cdot (b + \operatorname{tg} \varphi) < 1 - b \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ або остаточно:}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_o < \frac{1 - b \cdot \operatorname{tg} \varphi}{b + \operatorname{tg} \varphi}.$$

Аналіз різних форм грабельних поверхонь зубів показав, що спіральні зуби (спіраль Архімеда) забезпечують більш інтенсивне

піднімання в початковий момент в порівнянні із стандартними зубами (дуга кола). Як гіпотезу для вирішення задачі можна прийняти, що конструктивне об'єднання долотоподібного сошника і спірального грабельного зуба зможе забезпечити відведення рослинних решток від стояка сошника для прямої сівби зернових культур в умовах надмірної кількості післяжнивних рослинних решток.

1.4. Гіпотеза технічного забезпечення працездатності сошників з гострим кутом входження в ґрунт

За результатами аналізу сучасних конструкцій загортаючих робочих органів посівних машин для прямої сівби зернових культур та з урахуванням особливості виконання ними технологічного процесу можна припустити, що працездатність сошників з гострим кутом входження в ґрунт при наявності великої кількості рослинних решток можна забезпечити шляхом попереднього відведення їх від зони дії його стояка.

В зв'язку з цим, для подальшої експериментальної перевірки і теоретичного обґрунтування раціональних конструктивних параметрів окремих елементів, пропонується конструкція дослідного зразка загортаючого робочого органу, (рис. 1.28). Особливість конструкції полягає в наступному. Основний елемент - сошник має гострий кут входження в ґрунт і з'єднується з рамою сівалки через паралелограмний механізм. За таких умов передбачається можливість переміщення сошника на заданій глибині без залучення надмірного тиску на нього і потреби для цього надмірної маси машини. Паралелограмний механізм забезпечує постійний кут входження сошника в ґрунт, сприяє дотриманню заданої глибини загортання насіння при одночасному копіюванні рельєфу поверхні поля прикочуючим колесом. Для забезпечення надійного виконання технологічного процесу і запобігання накопичення на стоякові сошника рослинних решток до верхньої частини долота прикріплений

стеблевідвід, який представляє собою, як приклад, пруток з пружинної сталі з завчасно обґрунтованими раціональними параметрами.

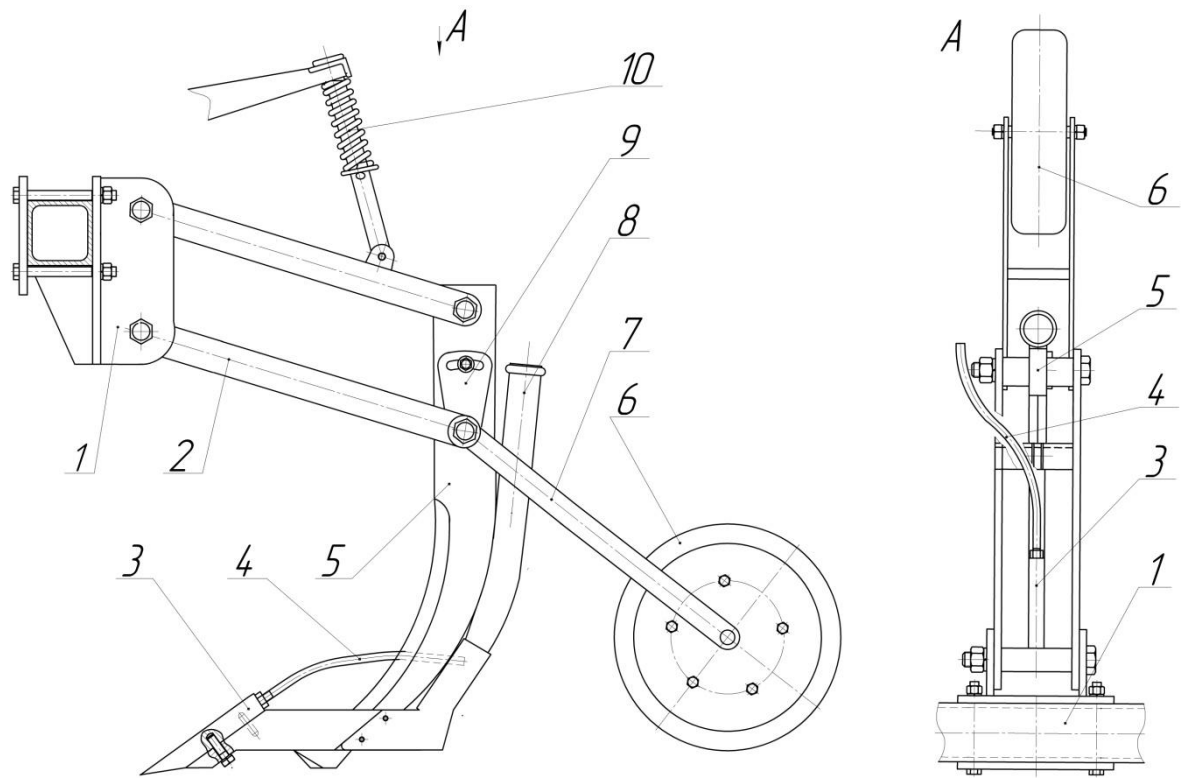


Рис. 1.28. Схема загортаючого робочого органу: 1 – кронштейн, 2 – паралелограмна підвіска, 3 – долото, 4 – стеблевідвід, 5 – стояк сошника, 6 – прикочуючий коток, 7 – поводок, 8 – туконасіннепровід, 9 – механізм регулювання глибини ходу сошника, 10 – натискна штанга

Задача даного елемента конструкції полягає у відведенні рослинних решток від стояка сошника. Для обґрунтування геометричних параметрів та вибору найбільш оптимальної форми стеблевідводу необхідно дослідити закономірності процесу взаємодії рослинних решток різних геометричних та технологічних параметрів (характеристик та властивостей) з його поверхнею і визначити умови їх сходження.

В результаті огляду і аналізу сучасного стану техніки та теоретичних досліджень сівалок прямої сівби зернових культур можна зробити наступні висновки.

1. В розвитку конструкцій сівалок прямої сівби спостерігаються такі тенденції:

- створення універсальних сівалок для сівби як зернових так і просапних культур, збільшення ширини їх захвату, забезпечення секційної будови, які можуть складатися до необхідної ширини для транспортування;
- найбільшого поширення набувають сівалки з дисковими та лаповими сошниками, які можна використовувати як сівалку так і культиватор.

2. Дискові сошники дуже нерівномірно розподіляють насіння по глибині у борозні, а при швидкості сівалки більше 8 км/год значна кількість насіння виноситься дисками на поверхню поля. Їх застосування призводить до суттєвого збільшення маси сівалки, що є необхідною умовою забезпечення роботи сошників такого типу.

3. Сівалки з лаповими сошниками не забезпечують агротехнічні вимоги по рівномірності розподілу насіння по глибині, а їх поширення в технологіях мінімального обробітку обмежується забиванням рослинними рештками.

4. Полозкові та кілевидні сошники добре працюють на легких за механічним складом ґрунтах. На важких ґрунтах заглибити такі сошники на глибину 6-8 см дуже важко, а на засмічених полях такі сошники забиваються рослинними рештками і практично не працюють.

5. Збільшення ширини захвату сівалок з сошниками, які мають тупий кут входження в ґрунт, можна досягти тільки за рахунок збільшення маси сівалки, при цьому питома металоємність практично залишається на одному рівні і сягає більше однієї тонни на метр ширини захвату.

6. Найбільш досконалими є долотоподібні сошники з гострим кутом входження в ґрунт. Їх недоліками є забивання стояків рослинними рештками, що порушує агротехнічні вимоги до сівби та збільшує час на технічне обслуговування.

7. Зменшення питомого тиску на сошник, а як наслідок, і зменшення маси сівалки можна досягти використанням сошників з гострим кутом входження в ґрунт.

2

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ СОШНИКА З РОСЛИННИМИ РЕШТКАМИ

2.1. Аналіз факторів, які впливають на взаємодію елементів конструкції сошника з рослинними рештками

Попередній аналіз показав, що для сівби зернових культур розроблена велика кількість різноманітних конструкцій сошників, які забезпечують реалізацію як традиційних так і сучасних технологій виконання даного процесу. Проведений аналіз їх конструкції дозволив виявити найбільш перспективні з них, якими є сошники з гострим кутом входження в ґрунт. Широке їх використання обмежується рядом невирішених проблем. Однією з головних є накопичення рослинних решток на стояках і як наслідок, низька надійність виконання технологічного процесу. Спроби вирішити дану проблему встановленням додаткових робочих органів призводять до ускладнення конструкції, підвищення матеріалоємності та енергетичних витрат.

Для вирішення даної задачі запропоновано нову конструкцію посівної секції, сошник якої (рис. 2.1) має долото з продовженням у вигляді пружинного стеблевідводу. Задача даного елемента конструкції полягає у відведенні від вісі стояка рослинних решток. Сошник виконаний у вигляді долотоподібної лапи 1, передня частина якої загострена, а в нижній частині вона має п'ятку 4 для утворення ущільненої борозни для насіння. Перед сошником встановлений стеблевідвід 2 відігнутий від вісі сошника. Посівна секція за допомогою паралелограмної підвіски закріплюється до рами сівалки.

Розіб'ємо весь шлях руху рослинних решток по стеблевідводу S на три ділянки:

- крутий підйом без відведення рослинних решток $S1$;

- пологий підйом з відведенням рослинних решток від стояка S_2 ;
- горизонтальна ділянка та похилий спуск із скиданням рослинних решток S_3 .

Основними конструктивними параметрами від яких залежить робота сошника в цілому є: α , β , γ – кути нахилу стеблевідводу до поверхні поля відповідно на першій, другій та третій ділянках; l_1 – довжина стеблевідводу на першій ділянці; l_2 , l_3 – відстань від вісі стояка сошника до стеблевідводу в горизонтальній площині, відповідно на другій та третій ділянках; R_1 , R_2 – радіус стеблевідводу відповідно на другій і третій ділянках; H_1 , H_2 , H_3 – висота стеблевідводу відповідно на першій, другій і третій ділянках.

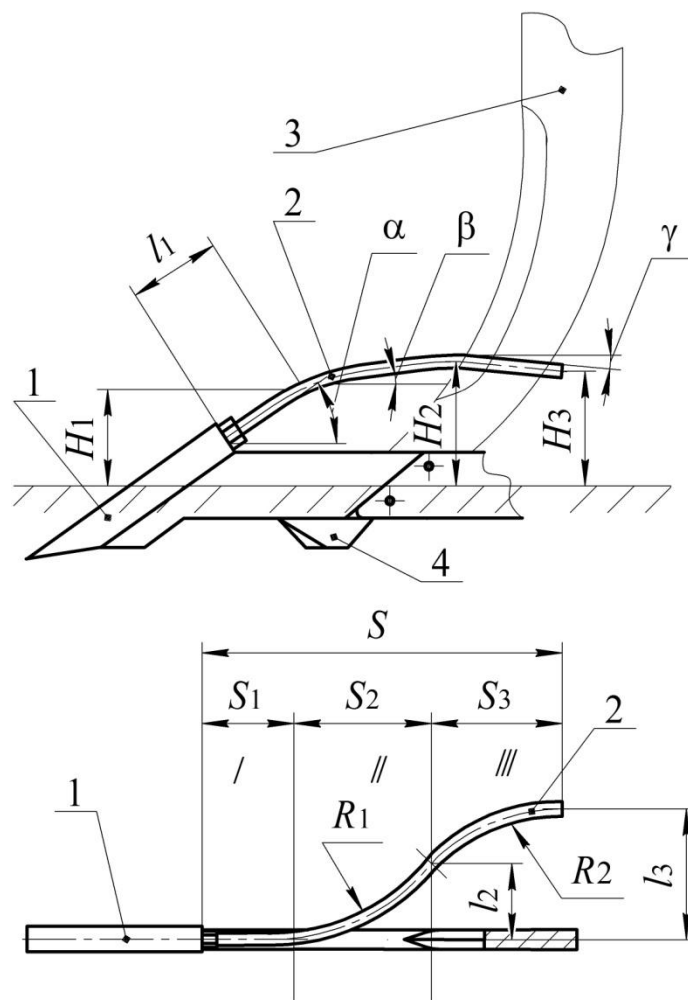


Рис. 2.1. Основні конструктивні параметри сошника: 1 – долото;
2 – стеблевідвід; 3 – стояк; 4 – п'ятка

На першій ділянці стеблевідводу повинні бути виконані наступні дві задачі:

- скидання як можна більшої кількості рослинних решток зі стеблевідводу в результаті їхнього поперечного руху по відношенню до стеблевідводу, тобто випрямити їх і розвернути вздовж напрямку руху сошника посівної секції;
- піднімання на необхідну висоту над поверхнею ґрунту рослинних решток, які залишаються на стеблевідводі, щоб зменшити силу їх тертя по поверхні поля і унеможливити їхнє сходження з стеблевідводу до відведення від стояка сошника.

Поперечний рух рослинних решток можливий при малих силах, які протидіють йому. Основною з них є сила, яка протидіє зміні форми рослинних решток (їхньому випрямленню). Тому необхідно, щоб в процесі відриву від ґрунту рослинні рештки як можна менше прогиналися, а це можливе при малій кривизні тієї ділянки поперечного перетину стеблевідводу, яка контактує з рослинними рештками в момент зіткнення.

2.2. Обґрунтування умов руху рослинних решток на похилій ділянці стеблевідводу

Рух сільськогосподарських матеріалів по поверхнях різного виду привертав увагу багатьох дослідників. Фундаментальні положення розглянуті в роботах [9, 15, 27, 28, 53, 57], однак поява нових технічних рішень вимагає проведення додаткових досліджень.

Загальна задача обґрунтування умов руху рослинних решток на похилій ділянці стеблевідводу розбивається на два етапи. На першому – вивчається динаміка піднімання рослинних решток стеблевідводом сошника на певну висоту, на другому – динаміка їх відведення від стояка.

Усі рослинні рештки, які знаходяться на полі під час сівби, умовно можна розділити на три типи:

- тверді (не гнучкі), прямолінійні, тобто такі, що при зіткненні з стеблевідводом не прогинаються і мають форму близьку до прямолінійної (наприклад короткі рослинні рештки соняшнику, кукурудзи та ін.);
- тверді, але дугоподібної форми, та гнучкі сухі або вологі, що вільно лежать на поверхні (наприклад рослинні рештки та листки рапсу, кукурудзи та ін.);
- гнучкі (сухі чи вологі), які утримуються кореневою системою в ґрунті (наприклад рослинні рештки бур'янів, стерня зернових та ін.). Рослинні рештки називатимемо гнучкими, якщо вони при зіткненні із стеблевідводом прогинаються і змінюють свою форму.

В момент зіткнення рослинних решток із стеблевідводом, його швидкість по відношенню до рослинних решток рівна лінійній швидкості сівалки V_c .

Рослинні рештки першого типу при зіткненні із стеблевідводом розвертаються на деякий кут, займають положення більш направлене вздовж руху сошника і практично не заважають процесу сівки.

При зіткненні зі стеблевідводом рослинних решток другого типу відбувається удар, після якого вони починають рухатися по ньому з деякою початковою швидкістю V_0 , яка залежить від швидкості сошника та параметрів рослинних решток і стеблевідводу. При цьому рослинні рештки можуть або піднятися на максимальну висоту, або сповзти зі стеблевідводу вбік і залишитися на стерні вирівнявшись в напрямку руху сошника. Все залежить від розташування центра ваги рослинних решток по відношенню до стеблевідводу (рис 2.2). Якщо

$$F_{11} - F_{12} > F_{22}, \quad (2.1)$$

то рослинні рештки сповзатиме зі стеблевідводу, а при невиконанні умови (2.1) залишатимуться на ньому.

При зіткненні зі стеблевідводом рослинних решток третього типу відносна швидкість V_c гаситься майже до нуля. Така ситуація аналогічна другому випадку за винятком того, що рослинні рештки третього типу можуть залишитися в ґрунті, якщо центр кореневої системи знаходиться в стороні від траєкторії руху стеблевідводу, або підніматися по ньому, але з практично нульовою початковою швидкістю ($V_0 \approx 0$).

Очевидно, що досліджувати потрібно ситуацію з рослинними рештками другого та третього типів, у випадку коли вони залишаються на стеблевідводі, основною відмінністю яких є різна початкова швидкість з якою вони починають підніматися по ньому.

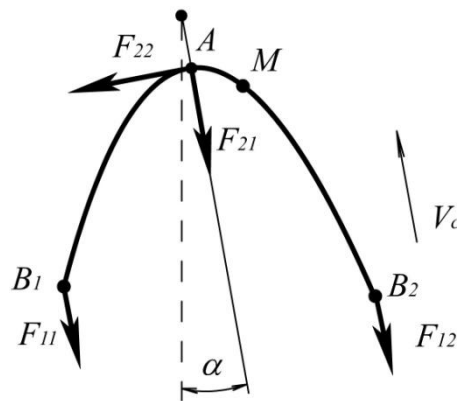


Рис. 2.2. Схема захвату рослинних решток дугоподібної форми стеблевідводом

Для складання математичної моделі розглянемо схему руху рослинних решток по стеблевідводу (рис. 2.3) після їхнього зіткнення.

Прийнемо наступні припущення:

- рослинні рештки є однорідними;
- при зіткненні із стеблевідводом рослинні рештки перегинаються майже навпіл;
- обидві частини зігнутих рослинних решток прямолінійні довжиною L ;
- рослинні рештки здійснюють плоскопаралельний рух.

Введемо дві прямокутні системи координат: нерухому – $O_0X_0Y_0Z_0$ та

рухому – $OXYZ$ з паралельними осями координат. Рухома система $OXYZ$ жорстко зв'язана з сівалкою: O – точка перетину лінії стеблевідводу з поверхнею ґрунту, напрям вісі OY співпадає з вектором швидкості руху сівалки \bar{V}_c , вісь OZ направлена вгору перпендикулярно поверхні поля, вісь OX – направлена таким чином, що система координат $OXYZ$ права. В рухомій системі координат $OXYZ$ рослинні рештки здійснюють плоскопаралельний рух, який розбиваємо на два – поступальний разом з точкою A і обертальний навколо неї.

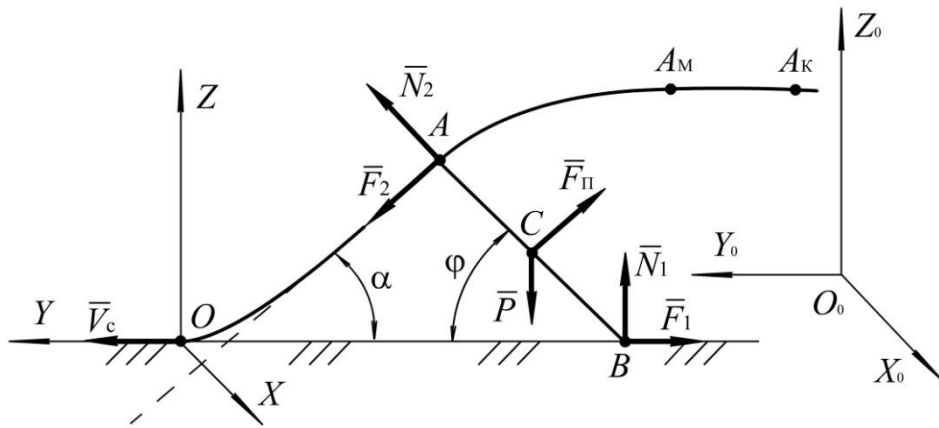


Рис. 2.3. Схема руху рослинних решток по стеблевідводу: $O...A...A_m...A_k$ – крива, яка задає форму стеблевідводу; AB – половина довжини рослинних решток; C – центр ваги рослинних решток

Диференціальні рівняння руху рослинних решток складаємо із застосуванням рівнянь Лагранжа II роду [40]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q}, \quad q = (y, z, \varphi)^T, \quad (2.2)$$

де T – кінетична енергія рослинних решток;

Π – потенціальна енергія рослинних решток;

q – вектор узагальнених координат, які визначають рух рослинних решток;

(y, z, φ) – поточні координати рослинних решток.

Кінетичну енергію рослинних решток визначимо як суму:

$$T = T_{\pi} + T_o, \quad (2.3)$$

$$\text{де} \quad T_{\pi} = \frac{m\bar{V}^2}{2}, \quad T_o = \frac{\bar{\omega}^T J \bar{\omega}}{2} \quad (2.4)$$

– відповідно, кінетична енергія поступального руху рослинних решток разом з точкою A і обертального руху навколо точки A .

Радіус-вектор \bar{r}_A та швидкість \bar{V}_A точки A , кутова швидкість обертання рослинних решток $\bar{\omega}$ та їх тензор інерції J в проекціях на вісі системи $OXYZ$ мають вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{r}_A &= (0, y_A, z_A)^T, \quad \bar{V}_A = (0, \dot{y}_A, \dot{z}_A)^T, \quad \bar{\omega} = (\dot{\phi}, 0, 0), \\ J &= \text{Diag}(1, \sin^2 \phi, \cos^2 \phi) \frac{mL^2}{3}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

де L – половина довжини рослинних решток.

Підставивши (2.5) в (2.3), отримаємо:

$$T = \frac{m(\dot{y}_A^2 + \dot{z}_A^2)}{2} + \frac{mL^2 \dot{\phi}^2}{6}. \quad (2.6)$$

Потенціальна енергія накопичена зовнішніми силами, що діють на рослинні рештки, на малих приростах узагальнених координат $\delta y_A, \delta z_A, \delta \phi_A$ рівна:

$$\Pi = -\bar{P} \delta \bar{s}_C - \bar{N}_1 \delta \bar{s}_B - \bar{N}_2 \delta \bar{s}_A - \bar{F}_1 \delta \bar{s}_B - \bar{F}_2 \delta \bar{s}_A - \bar{F}_{\Pi} \delta \bar{s}_C, \quad (2.7)$$

де $\bar{P} = (0, 0, -mg)^T$ – сила ваги рослинних решток;

$\bar{N}_1 = (0, 0, N_1)^T$, $\bar{N}_2 = (0, N_2 \sin \alpha, N_2 \cos \alpha)^T$ – сили реакцій поверхні поля і стеблевідводу;

$\bar{F}_1 = (0, -f_1 N_1, 0)^T$, $\bar{F}_2 = f_2 N_2 \cdot (0, \cos \alpha, -\sin \alpha)^T$ – сили тертя рослинних решток відповідно по поверхні поля і стеблевідводу;

$\bar{F}_{\Pi} = \bar{F}_{\Pi. \text{пос.}} + \bar{F}_{\Pi. \text{об.}}$ – сила опору повітря (направлена вгору перпендикулярно до рослинних решток);

$\bar{F}_{\text{п.пос.}}$ – сила опору повітря поступальному рухові рослинних решток;

$\bar{F}_{\text{п.об.}}$ - сила опору повітря обертальному рухові рослинних решток;

m – маса рослинних решток;

$k_{\text{п}}$ - коефіцієнт сили опору повітря;

f_1, f_2 – коефіцієнти тертя рослинних решток відповідно по поверхні поля та стеблевідводу;

$$\delta \bar{s}_C = \delta \bar{y} + \delta \bar{z} + \overline{AC} \times \delta \bar{\varphi} \quad , \quad \delta \bar{s}_B = \delta \bar{y} + \delta \bar{z} + \delta \overline{AB} \quad , \quad \delta \bar{s}_A = \delta \bar{y} + \delta \bar{z} \quad -$$

вектори елементарних переміщень точок C, A, B , відповідно.

Визначимо складові сили опору повітря $\bar{F}_{\text{п}}$. Сила $\bar{F}_{\text{п.пос.}}$ по величині пропорційна скалярному добутку вектора швидкості $\bar{V}_{\text{пос.}}$ на орт вектора нормалі \bar{n} , а по напрямку співпадає з вектором нормалі \bar{n} , тому:

$$\bar{F}_{\text{п.пос.}} = -k_{\text{п}} m (\bar{V}_{\text{пос.}} \bar{n}) \bar{n} = k_{\text{п}} m [(\dot{y}_A + V_c) \sin \varphi - \dot{z}_A \cos \varphi] \bar{n} \quad , \quad (2.8)$$

де $\bar{V}_{\text{пос.}} = \bar{V}_c + \bar{V}_A = (0, \dot{y}_A + V_c, \dot{z}_A)^T$, $\bar{n} = (0, -\sin \varphi, \cos \varphi)^T$.

Знайдемо складову $\bar{F}_{\text{п.об.}}$. Для довільного елемента рослинних решток масою Δm , що містить точку M , сила опору $\Delta \bar{F}_{\text{п.об.}}$ визначиться наступним чином:

$$\Delta \bar{F}_{\text{п.об.}}(M) = -k_{\text{п}} \Delta m |\bar{V}(M)| \bar{n} \quad , \quad (2.9)$$

тому силу $\bar{F}_{\text{п.об.}}$ знайдемо як усереднену по всій рослинній рештці силу прикладену в точці C :

$$\bar{F}_{\text{п.об.}} \approx \tilde{\tilde{F}}_{\text{п.об.}} = k_{\text{п}} m \tilde{\tilde{V}}_{\text{об.}} (0, \tilde{V}_{\text{об.y}}, \tilde{V}_{\text{об.z}})^T \quad , \quad (2.10)$$

де $\tilde{V}_{\text{об.y}}, \tilde{V}_{\text{об.z}}$ – складові усередненої швидкості вздовж осей OY та OZ :

$$\tilde{V}_{\text{об.y}} = \frac{1}{L} \int_0^L u \dot{\varphi} \sin \varphi du \quad , \quad \tilde{V}_{\text{об.z}} = -\frac{1}{L} \int_0^L u \dot{\varphi} \cos \varphi du \quad . \quad (2.11)$$

Обчисливши інтеграли (2.11) з (2.10) отримаємо:

$$\bar{F}_{\text{п.об.}} \approx \tilde{\bar{F}}_{\text{п.об.}} = \frac{k_{\text{п}} m L}{2} \dot{\varphi} \bar{n}.$$

Таким чином сила опору повітря має вигляд

$$\bar{F}_{\text{п}} = k_{\text{п}} m \left((\dot{y}_A + V_c) \sin \varphi - \dot{z}_A \cos \varphi + \frac{k_{\text{п}} m L}{2} \dot{\varphi} \right) \bar{n}. \quad (2.12)$$

Визначаємо елементарні переміщення точок C, A, B . Так як:

$$\begin{aligned} \delta \bar{y} &= (0, \delta y, 0)^T, \quad \delta \bar{z} = (0, 0, \delta z)^T, \quad \delta \bar{\varphi} = (\delta \varphi, 0, 0)^T, \\ \overline{AB} &= 2 \overline{AC} = (0, -L \cos \varphi - L \sin \varphi)^T, \end{aligned} \quad (2.13)$$

то вектори елементарних переміщень $\delta \bar{s}_C, \delta \bar{s}_B, \delta \bar{s}_A$ мають вигляд:

$$\begin{aligned} \delta \bar{s}_C &= \left(0, \delta y + \frac{\delta \varphi L}{2} \sin \varphi, \delta z - \frac{\delta \varphi L}{2} \cos \varphi \right)^T, \\ \delta \bar{s}_B &= \left(0, \delta y + \frac{\delta \varphi L}{2} \sin \varphi, \delta z - \delta \varphi L \cos \varphi \right)^T, \quad \delta \bar{s}_A = (0, \delta y, \delta z)^T. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Знаходимо елементарні роботи кожної з зовнішніх сил:

$$\begin{aligned} \bar{P} \delta \bar{s}_C &= -\frac{mg}{2} \cdot (2 \delta z - \delta \varphi L \cos \varphi), \quad \bar{N}_1 \delta \bar{s}_B = N_1 (\delta z - \delta \varphi L \cos \varphi), \\ \bar{N}_2 \delta \bar{s}_A &= N_2 (\delta y \sin \alpha + \delta z \cos \alpha), \quad \bar{F}_1 \delta \bar{s}_B = -f_1 N_1 (\delta y + \delta \varphi L \sin \varphi), \\ \bar{F}_2 \delta \bar{s}_A &= -f_2 N_2 (\delta y \cos \alpha - \delta z \sin \alpha), \\ \bar{F}_{\text{п}} \delta \bar{s}_C &= \frac{k_{\text{п}} m}{4} [2(\dot{y}_A + V_c) \sin \varphi - 2 \dot{z}_A \cos \varphi + L \dot{\varphi}] \times \\ &\quad \times (-2 \delta y \sin \varphi + 2 \delta z \cos \varphi - \delta \varphi L). \end{aligned} \quad (2.15)$$

Підставивши (2.15) в (2.7) отримаємо вираз для потенціальної енергії (в подальшому індекс A біля змінних y, z опущений):

$$\begin{aligned}\Pi = & \frac{mg}{2}(2\delta z - \delta\varphi L \cos\varphi) - N_1(\delta z - \delta\varphi L \cos\varphi) - N_2(\delta y \sin\alpha + \\ & + \delta z \cos\alpha) + f_1 N_1(\delta y + \delta\varphi L \sin\varphi) - f_2 N_2(\delta y \cos\alpha - \delta z \sin\alpha) - \\ & - \frac{k_{\pi} m}{4}[2(\dot{y} + V_c) \sin\varphi - 2\dot{z} \cos\varphi + L\dot{\varphi}](-2\delta y \sin\varphi + 2\delta z \cos\varphi - \delta\varphi L). \quad (2.16)\end{aligned}$$

Запишемо ліві і праві частини рівнянь Лагранжа. З (2.6) і (2.16) маємо:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} - \frac{\partial T}{\partial y} = m\ddot{y}, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}} - \frac{\partial T}{\partial z} = m\ddot{z}, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{mL^2}{3}\ddot{\varphi}, \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned}-\frac{\partial \Pi}{\partial y} = & -f_1 N_1 + N_2(\sin\alpha + f_2 \cos\alpha) - k_{\pi} m \left((\dot{y} + V_c) \sin\varphi - \dot{z} \cos\varphi + \frac{L\dot{\varphi}}{2} \right) \sin\varphi \\ -\frac{\partial \Pi}{\partial z} = & -mg + N_1 + N_2(\cos\alpha - f_2 \sin\alpha) + k_{\pi} m \left((\dot{y} + V_c) \sin\varphi - \dot{z} \cos\varphi + \frac{L\dot{\varphi}}{2} \right) \cos\varphi \quad (2.18) \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = & \frac{mg}{2} L \cos\varphi - N_1 L(\cos\varphi + f_1 \sin\varphi) - \frac{k_{\pi} mL}{4}[2(\dot{y} + V_c) \sin\varphi - 2\dot{z} \cos\varphi + L\dot{\varphi}].\end{aligned}$$

Підставивши (2.17), (2.18) в (2.2), отримаємо рівняння руху:

$$\begin{aligned}m\ddot{y} = & -f_1 N_1 + N_2(\sin\alpha + f_2 \cos\alpha) - k_{\pi} m \left((\dot{y} + V_c) \sin\varphi - \dot{z} \cos\varphi + \frac{L\dot{\varphi}}{2} \right) \sin\varphi, \\ m\ddot{z} = & -mg + N_1 + N_2(\cos\alpha - f_2 \sin\alpha) + k_{\pi} m \left((\dot{y} + V_c) \sin\varphi - \dot{z} \cos\varphi + \frac{L\dot{\varphi}}{2} \right) \cos\varphi \quad (2.19) \\ \frac{2}{3} mL\ddot{\varphi} = & mg \cos\varphi - 2N_1(\cos\varphi + f_1 \sin\varphi) - k_{\pi} m \left((\dot{y} + V_c) \sin\varphi - \dot{z} \cos\varphi + \frac{L\dot{\varphi}}{2} \right).\end{aligned}$$

Система (2.19) є системою трьох рівнянь відносно п'яти невідомих величин y, z, φ, N_1, N_2 . Для замикання системи використаємо те, що точки A і B рухаються по заданих траєкторіях: точка A – весь час знаходиться на поверхні стеблевідводу, точка B – на поверхні поля. З рис. 2.3 маємо, відповідно:

$$y = \Phi(z), \quad z = L \sin\varphi. \quad (2.20)$$

Рівняння (2.20) замикають систему (2.19). Граничні умови для системи диференціальних рівнянь (2.19), (2.20) мають вигляд:

$$y(0) = 0, \quad z(0) = 0, \quad \varphi(0) = 0, \\ \dot{y}(0) = -V_0 \cos \varphi, \quad \dot{z}(0) = V_0 \sin \alpha, \quad \dot{\varphi}(0) = \frac{V_0}{L} \sin \alpha. \quad (2.21)$$

Швидкість V_0 знаходиться із закону збереження імпульсу при не пружному ударі:

$$V_0 = V_c (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha). \quad (2.22)$$

Системи (2.19), (2.20) можна привести до одного диференціального рівняння відносно кута φ . Виключимо з першого рівняння системи (2.19) реакцію N_1 . Для цього в (2.19) помножимо друге рівняння на f_1 і додамо його до першого рівняння:

$$m\ddot{y} + f_1 m\ddot{z} = -f_1 mg + N_2 (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha) + f_1 N_2 (\cos \alpha - f_2 \sin \alpha) - \\ - \frac{k_{\Pi} m}{2} [2(\dot{y} + V_c) \sin \varphi - 2\dot{z} \cos \varphi + L\dot{\varphi}] (\sin \varphi - f_1 \cos \varphi).$$

З останньої рівності виражаємо N_2

$$N_2 = m \frac{\ddot{y} + f_1 (\ddot{z} + g) + \frac{k_{\Pi}}{2} [2(\dot{y} + V_c) \sin \varphi - 2\dot{z} \cos \varphi + L\dot{\varphi}] (\sin \varphi - f_1 \cos \varphi)}{(f_1 + f_2) \cos \alpha + (1 - f_1 f_2) \sin \alpha}. \quad (2.23)$$

Підставимо N_2 в друге рівняння (2.19) і визначимо N_1 :

$$N_1 = -m \frac{\ddot{y} (\cos \alpha - f_2 \sin \alpha) - (\ddot{z} + g) (f_2 \cos \alpha + \sin \alpha)}{(f_1 + f_2) \cos \alpha + (1 - f_1 f_2) \sin \alpha} - \\ - \frac{k_{\Pi} m}{2} \frac{2(\dot{y} + V_c) \sin \varphi - 2\dot{z} \cos \varphi + L\dot{\varphi}}{(f_1 + f_2) \cos \alpha + (1 - f_1 f_2) \sin \alpha} \times \\ \times [\sin \varphi (\cos \alpha - f_2 \sin \alpha) + (f_2 \cos \alpha + \sin \alpha) \cos \varphi]. \quad (2.24)$$

З третього рівняння системи (2.19) враховуючи (2.23), (2.24), отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{2L}{3} \ddot{\phi} = g \cos \varphi + 2 \frac{\ddot{y}(\operatorname{ctg} \alpha - f_2) - (\ddot{z} + g)(f_2 \operatorname{ctg} \alpha + 1)}{(f_1 + f_2) \operatorname{ctg} \alpha + 1 - f_1 f_2} (\cos \varphi + f_1 \sin \varphi) + \\ + k_{\pi} \frac{2(\dot{y} + V_c) \sin \varphi - 2\dot{z} \cos \varphi + L\dot{\phi}}{(f_1 + f_2) \operatorname{ctg} \alpha + 1 - f_1 f_2} \{2[(f_1 - f_2) \operatorname{ctg} \alpha + 1 - f_1 f_2] \sin^2 \varphi + \\ + 2[(1 + f_1 f_2) \operatorname{ctg} \alpha + f_1 - f_2] \cos \varphi \sin \varphi + 1 + f_1 f_2 - (f_1 - f_2) \operatorname{ctg} \alpha\}. \end{aligned} \quad (2.25)$$

З (2.20) знаходимо похідні першого і другого порядку для змінних y, z та вирази для тригонометричних функцій $\sin \alpha, \cos \alpha$:

$$\dot{y} = \Phi'_z \dot{z}, \quad \ddot{y} = \Phi'_z \ddot{z} + \Phi''_{zz} \dot{z}^2, \quad \dot{z} = L\dot{\phi} \cos \varphi, \quad \ddot{z} = L(\ddot{\phi} \cos \varphi - \dot{\phi}^2 \sin \varphi). \quad (2.26)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = -\Phi'_z, \quad \sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \Phi'^2_z}}, \quad \cos \alpha = -\frac{\Phi'_z}{\sqrt{1 + \Phi'^2_z}}, \quad (2.27)$$

$$\text{де } \Phi'_z = [\Phi(z)]'_z, \quad \Phi''_{zz} = [\Phi(z)]''_{zz} \text{ при } z = L \sin \varphi. \quad (2.28)$$

Отже, задача звелась до розв'язання диференціального рівняння (2.25) з урахуванням (2.26)–(2.28) при граничних умовах:

$$\varphi(0) = 0, \quad \dot{\phi}(0) = \frac{V_0}{L} \sin \alpha. \quad (2.29)$$

При розв'язуванні рівняння (2.25) потрібно задатись функцією $y = \Phi(z)$. В загальному вигляді рівняння (2.25) не інтегрується в елементарних функціях. Його розв'язки знаходяться наближеними методами.

Розглянемо два окремі випадки для лінії $y = \Phi(z)$, що задає форму стеблевідводу.

Перший випадок – стеблевідвід є частиною кола.

Тоді $y = \Phi(z) = \pm \sqrt{R^2 - z^2}$ і похідні (2.26) мають вигляд:

$$\Phi'_z = -\frac{p \sin \alpha}{\sqrt{p^2 - \sin^2 \alpha}}, \quad \Phi''_{zz} = \mp \frac{p^2}{(p^2 - \sin^2 \alpha)^{3/2} L},$$

де $p = \frac{R}{L}$.

Другий випадок – стеблевідвід прямолінійної форми.

Тоді $z = -y \cdot \text{ctg} \alpha$ і похідні (2.28) мають вигляд $\Phi'_z = -\text{ctg} \alpha$, $\Phi''_{zz} = 0$.

Якщо не враховувати сили опору повітря, то рівняння (2.25) прийматиме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{2L}{3} \ddot{\varphi} = g \frac{[(f_1 - f_2) \text{ctg} \alpha - 1 - f_1 f_2] \cos \varphi - 2f_1(f_2 \text{ctg} \alpha + 1) \sin \varphi}{(f_1 + f_2) \text{ctg} \alpha + 1 - f_1 f_2} + \\ + 2 \frac{\ddot{y}(\text{ctg} \alpha - f_2) - \ddot{z}(f_2 \text{ctg} \alpha + 1)}{(f_1 + f_2) \text{ctg} \alpha + 1 - f_1 f_2} (\cos \varphi + f_1 \sin \varphi). \end{aligned} \quad (2.30)$$

Підставивши в (2.30) похідні \ddot{y} , \ddot{z} з (2.26) і враховуючи (2.27), отримаємо:

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi} = \frac{g}{L} (c_4 \cos \varphi + c_5 \sin \varphi) + [\ddot{\varphi} c_2 \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 (c_2 \sin \varphi - \\ - c_3 \cos^2 \varphi)] (\cos \varphi + f_1 \sin \varphi), \end{aligned} \quad (2.31)$$

де $c_1 = f_1 f_2 - 1 + (f_1 + f_2) \Phi'_z$, $c_2 = \frac{3}{c_1} (1 + \Phi_z'^2)$, $c_3 = \frac{3L}{c_1} (\Phi'_z + f_2) \Phi''_{zz}$,

$$c_4 = \frac{3}{2c_1} [f_1 f_2 + 1 + (f_1 - f_2) \Phi'_z], \quad c_5 = \frac{3}{c_1} f_1 (1 - f_2 \Phi'_z). \quad (2.32)$$

Запишемо рівняння (2.31) у вигляді:

$$\ddot{\varphi} + \dot{\varphi}^2 P(\varphi) = Q(\varphi), \quad (2.33)$$

де $P(\varphi) = \frac{(c_2 \sin \varphi - c_3 \cos^2 \varphi)(\cos \varphi + f_1 \sin \varphi)}{1 - c_2(\cos \varphi + f_1 \sin \varphi) \cos \varphi}$,

$$Q(\varphi) = \frac{g}{L} \cdot \frac{c_4 \cos \varphi + c_5 \sin \varphi}{1 - c_2(\cos \varphi + f_1 \sin \varphi) \cos \varphi}. \quad (2.34)$$

Граничні умови рівняння (2.33) задані в (2.29).

Диференціальне рівняння (2.33) допускає пониження порядку.

Введемо нову змінну $q(\varphi)$:

$$q(\varphi) = \frac{d\varphi}{dt}, \quad (2.35)$$

тоді

$$\ddot{\varphi} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) = \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{dq(\varphi)}{d\varphi} = q(\varphi) \frac{dq(\varphi)}{d\varphi} = \frac{1}{2} \frac{d}{d\varphi} [q^2(\varphi)]$$

і рівняння (2.33) приймає вигляд:

$$\frac{1}{2} \frac{dq^2}{d\varphi} + q^2 P(\varphi) = Q(\varphi).$$

Заміною

$$q^2 = u(\varphi) \quad (2.36)$$

останнє рівняння зводиться до лінійного рівняння першого порядку:

$$\frac{du}{d\varphi} + 2uP(\varphi) = 2Q(\varphi). \quad (2.37)$$

Розв'язок останнього має вигляд

$$u(\varphi) = 2e^{-2\int P(\varphi)d\varphi} \left(\int Q(\varphi)e^{2\int P(\varphi)d\varphi} d\varphi + C \right), \quad (2.38)$$

де C – постійна інтегрування.

Гранична умова рівняння (2.38):

$$u(0) = \sqrt{\frac{V_0}{L}} \sin \alpha. \quad (2.39)$$

Враховуючи (2.35), (2.36) з (2.38) отримаємо:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \sqrt{2e^{-2\int P(\varphi)d\varphi} \left(\int Q(\varphi)e^{2\int P(\varphi)d\varphi} d\varphi + C \right)},$$

або після інтегрування:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{e^{-2\int P(\varphi)d\varphi} (\int Q(\varphi)e^{2\int P(\varphi)d\varphi} d\varphi + C)}} = t. \quad (2.40)$$

З (2.40) можна знайти залежність $\varphi = \varphi(t)$. Для цього потрібно підставити конкретний вигляд функції $y = \Phi(z)$ (див. (2.20), (2.32)). В частинному випадку (прямолинійна ділянка) при:

$$y = -z \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.41)$$

для внутрішніх інтегралів в знаменнику (2.40) маємо:

$$\int P(\varphi) d\varphi = -\ln \left| \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{\operatorname{tg}^2 \varphi + b_1 f_1 \operatorname{tg} \varphi + 1 + b_1} \right| - \frac{b_6}{b_5} \ln \left| \frac{\operatorname{tg} \varphi + b_6 + b_5}{\operatorname{tg} \varphi + b_6 - b_5} \right|, \quad (2.42)$$

$$\int Q(\varphi) e^{2\int P(\varphi) d\varphi} d\varphi = \int [2(b_3 - b_2) \cos \varphi - 2b_2 f_1 \sin \varphi] \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi + b_6 - b_5}{\operatorname{tg} \varphi + b_6 + b_5} \right)^{\frac{b_6}{b_5}} d\varphi, \quad (2.43)$$

$$\text{де } b_1 = \frac{3}{b_4} \sin \alpha, \quad b_2 = \frac{3kL}{b_4} [(f_1 + 3f_2) \cos \alpha + (3 - f_1 f_2) \sin \alpha];$$

$$b_3 = \frac{3kL f_1}{b_4} (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha); \quad b_4 = [(f_1 + f_2) \cos \alpha + (1 - f_1 f_2) \sin \alpha] \sin^2 \alpha;$$

$$b_5 = \sqrt{b_6^2 - 1 - b_1}, \quad b_6 = b_1 \frac{f_1}{2}.$$

Зовнішній інтеграл в (2.41) з урахуванням (2.42), (2.43) в аналітичному вигляді навіть для цього самого простого випадку не обчислюється.

Для аналізу можливості руху рослинних решток по стеблевідводу розглянемо критичні значення кута нахилу рослинних решток до поверхні поля $\varphi_{\text{кр}1}$, $\varphi_{\text{кр}2}$ – відповідно, найменший і найбільший кути, при яких вони з нульовою початковою швидкістю будуть залишатися в стані спокою,

тобто усі похідні в системі (2.19) будуть рівні нулю $\dot{y} = \ddot{y} = \dot{z} = \ddot{z} = \dot{\varphi} = \ddot{\varphi} = 0$, якщо $V(0) = 0$ і $\varphi(0) \in [\varphi_{кр1}, \varphi_{кр2}]$.

Тоді при $V(0) = 0$, якщо $\varphi(0) < \varphi_{кр1}$, то рослинні рештки підніматимуться по стеблевідводу: прискорено ($\dot{\varphi} > 0$, $\ddot{\varphi} > 0$), при $\varphi < \varphi_{кр1}$), уповільнено ($\dot{\varphi} > 0$, $\ddot{\varphi} < 0$), при $\varphi > \varphi_{кр1}$). Якщо $\varphi(0) > \varphi_{кр2}$, то рослинні рештки опускатимуться по стеблевідводу: прискорено ($\dot{\varphi} < 0$, $\ddot{\varphi} < 0$), при $\varphi > \varphi_{кр2}$), уповільнено ($\dot{\varphi} < 0$, $\ddot{\varphi} > 0$), при $\varphi < \varphi_{кр2}$).

Таким чином при $\varphi(0) < \varphi_{кр1}$ рослинні рештки в момент зупинки свого руху по стеблевідводу ($\dot{\varphi} = 0$) досягають деякого кутового значення $\varphi = \varphi_{\pi} > \varphi_{кр1}$. Якщо $\varphi_{\pi} < \varphi_{кр2}$, то рослинні рештки залишаться в стані спокою по відношенню до стеблевідводу, або почнуть прискорено опускатися, що є не бажаним. Тому необхідно, щоб у цей момент рослинні рештки уже знаходилися на горизонтальній ділянці стеблевідводу.

Для визначення критичного значення кута нахилу рослинних решток до поверхні поля $\varphi_{кр1}$, запишемо рівняння (2.19) з урахуванням попередніх зауважень рівності нулю усіх похідних і отримаємо систему:

$$\begin{aligned} 0 &= -f_1 N_1 + N_2 (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha) - km V_c \sin \varphi \sin \varphi \\ 0 &= -mg + N_1 + N_2 (\cos \alpha - f_2 \sin \alpha) + km V_c \sin \varphi \cos \varphi, \\ 0 &= mg \cos \varphi - 2N_1 (\cos \varphi + f_1 \sin \varphi) - km V_c \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.44)$$

Виразивши з перших двох рівнянь реакцію N_1 і підставивши її в третє рівняння отримаємо рівняння для знаходження залежності між кутами α і φ :

$$\begin{aligned} [(f_1 + f_2) \cos \alpha - (1 + f_1 f_2) \sin \alpha] \cos \varphi - 2f_1 (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha) \sin \varphi - \\ - \frac{k_{\pi} V_c}{g} [(\sin \alpha + f_2 \cos \alpha) (\cos 2\varphi + f_1 \sin 2\varphi) - \\ - (\cos \alpha - f_2 \sin \alpha) (f_1 \cos 2\varphi - \sin 2\varphi)] \sin \varphi = 0. \end{aligned} \quad (2.45)$$

При нехтуванні силою опору повітря рівняння (2.45) приймає вигляд:

$$[(f_1 + f_2) \cos \alpha - (1 + f_1 f_2) \sin \alpha] \cos \varphi - 2f_1 (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha) \sin \varphi = 0. \quad (2.46)$$

Для визначення критичного значення кута нахилу рослинних решток до поверхні поля $\varphi_{кр2}$ приймемо до уваги те, що при опусканні рослинних решток із стеблевідводу $F_2 = -N_2 f_2$, (при підніманні $F_2 = N_2 f_2$, $f_2 \rightarrow -f_2$):

$$\begin{aligned} & [(f_1 - f_2) \cos \alpha - (1 - f_1 f_2) \sin \alpha] \cos \varphi - 2f_1 (\sin \alpha - f_2 \cos \alpha) \sin \varphi - \\ & - \frac{k_{\pi} V_c}{g} [(\sin \alpha - f_2 \cos \alpha) (\cos 2\varphi + f_1 \sin 2\varphi) - \\ & - (\cos \alpha + f_2 \sin \alpha) (f_1 \cos 2\varphi - \sin 2\varphi)] \sin \varphi = 0 \end{aligned} \quad (2.47)$$

або при нехтуванні силою опору повітря:

$$[(f_1 - f_2) \cos \alpha - (1 - f_1 f_2) \sin \alpha] \cos \varphi - 2f_1 (\sin \alpha - f_2 \cos \alpha) \sin \varphi = 0. \quad (2.48)$$

Для визначення оптимальних геометричних параметрів стеблевідводу сошника важливо знати кут його нахилу α , від значень якого буде залежати довжина похилої та висота розташування горизонтальної ділянок. Зменшення довжини стеблевідводу на першій похилій ділянці S_1 можна досягти при більших значеннях кута α , величина якого обмежується критичним значенням кута φ при якому настає опускання рослинних решток і вони не зможуть самотійно піднятися на його горизонтальну ділянку.

Очевидно (рис. 2.3), що при одній і тій самій довжині рослинних решток із збільшенням кута α збільшується і кут φ , що сприяє швидшому їх переходу в зону опускання.

Аналіз рівнянь (2.45–2.48) рис. 2.4 показує, що умови піднімання рослинних решток на першій похилій ділянці стеблевідводу кращі для решток більшої довжини. Максимальна висота горизонтальної ділянки

стеблевідводу H_1 , на яку самостійно зможуть піднятися рослинні рештки, може бути більше $H_1 = L - c$, де $c = \pi d_{cm.} / 2$ - величина, яка залежить від поперечного діаметра стеблевідводу $d_{cm.}$, так як в такому випадку рослинні рештки зависатимуть на стеблевідводі і рухатися вони будуть тільки під дією потоку наступних рослинних решток. Якщо врахувати агротехнічні вимоги до довжини подрібнених рослинних решток [74] (довжина не більше – 0,2 м), то такі рослинні рештки при $V=15$ км/год, $f_1 = 0,8$, $f_2 = 0,37$ за рахунок сил тертя по поверхні поля зможуть піднятися на максимальну висоту $H_1 = 0,05$ м, при $\alpha = 0^\circ - 9^\circ$, при $\alpha = 9^\circ - 48^\circ$ вони будуть знаходитися в стані спокою по відношенню до стеблевідводу, а при $\alpha > 48^\circ$ сповзатимуть з нього.

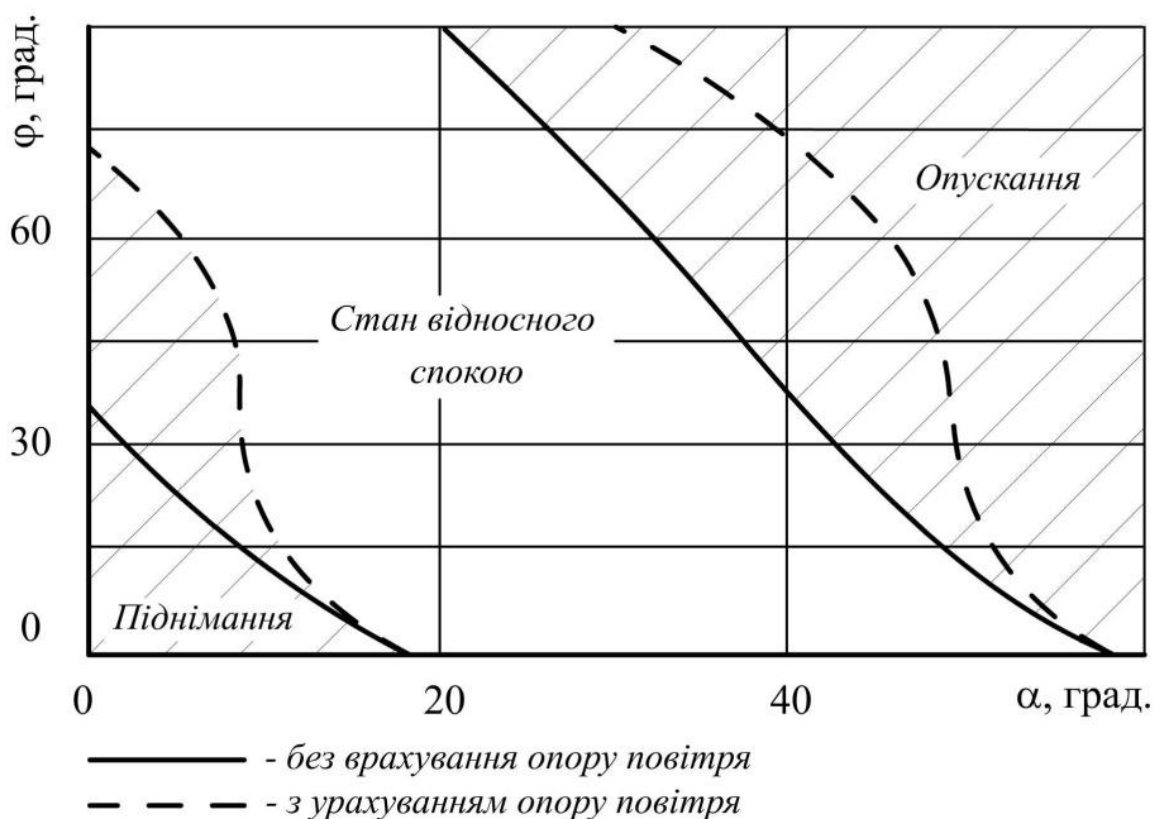


Рис. 2.4. Залежність між кутами нахилу до поверхні ґрунту рослинних решток і стеблевідводу: $V_c=15$ км/год, $f_1 = 0,8$, $f_2 = 0,37$

2.3. Дослідження руху рослинних решток по горизонтальній ділянці стеблевідводу

Для теоретичного обґрунтування умов руху рослинних решток по горизонтальній ділянці стеблевідводу при переміщенні їх від стояка сошника розглянемо рух рослинних решток при знаходженні їх верхньої точки на горизонтальній ділянці стеблевідводу (рис. 2.5). Горизонтальною ділянкою стеблевідводу будемо вважати його другу ділянку (рис. 2.1) при умові $\beta = 0$.

Аналогічно (рис. 2.3) вводяться дві прямокутні Декартові системи координат – нерухома $OX'Y'Z'$ і рухома $OXYZ$. Рухома система координат рухається поступально з швидкістю $-\bar{V}_c$. В початковий момент їхні вісі співпадають: вісь OY направлена вздовж руху сошника \bar{V}_c ; вісь OZ направлена вертикально вгору; вісь OX направлена перпендикулярно до площини OYZ так, що система координат $OXYZ$ права; AB – рослинні рештки, рух яких вивчається (точка A знаходиться на горизонтальній ділянці стеблевідводу, точка B на поверхні поля); точка O знаходиться в початковому положенні точки A' – проекції точки A на горизонтальну площину OXY ; $AA' = H_1$ – висота горизонтальної ділянки стеблевідводу над поверхнею ґрунту; $\angle ABA' = \varphi$ – кут, який утворюють рослинні рештки з поверхнею ґрунту; ε – кут, який утворює проекція рослинних решток $A'B$ з напрямком руху сошника (віссю OY). Форма горизонтальної ділянки стеблевідводу задається кривою MN :

$$x = \Phi(y). \quad (2.49)$$

При цьому $\Phi'_y = \operatorname{tg} \theta$, де θ – кут, який утворює дотична до кривої MN в точці A з віссю OY . Рух рослинних решток як і раніше розкладається на: поступальний разом з точкою A і обертальний навколо вісі AA' . На рослинну рештку діють сили: \bar{P} – ваги рослинних решток; \bar{N}_1 , \bar{N}_2 – реакції відповідно поверхні поля і стеблевідводу; \bar{F}_1 , \bar{F}_2 – сили

тертя рослинних решток відповідно по поверхні поля і стеблевідводу. Силою опору повітря, враховуючи складність аналітичних викладок, нехтуємо.

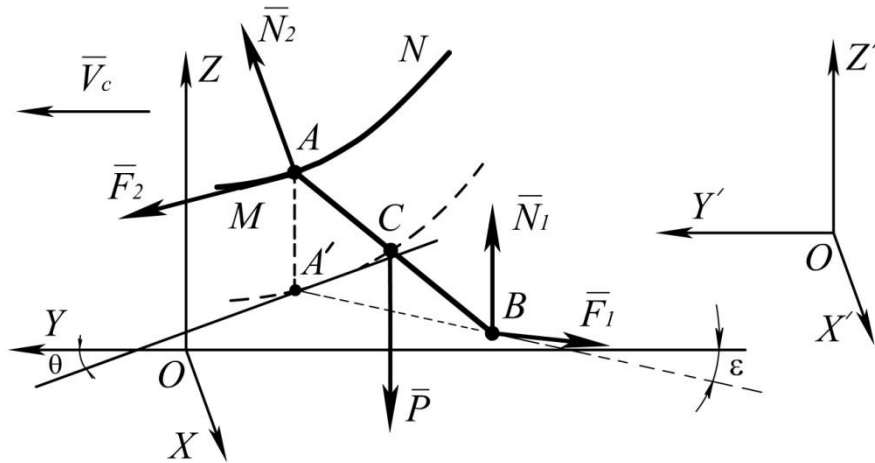


Рис. 2.5. Схема руху рослинних решток при знаходженні їх верхньої точки на горизонтальній ділянці стеблевідводу

З урахуванням (2.49) положення рослинних решток задається двома параметрами: координатою y_A точки A і кутом ε повороту рослинних решток навколо вісі AA' . Знайдемо зв'язок між положеннями кінців рослинних решток – координатами x_A, y_A і x_B, y_B точок $A(x_A, y_A, H_1)$ та $B(x_B, y_B, 0)$ в рухомій системі координат. Згідно приведених припущень маємо:

$$(y_A - y_B)^2 + (x_A - x_B)^2 = L_{xy}^2,$$

де $L_{xy} = L \cos \varphi$ – довжина проекції половини рослинних решток на горизонтальну поверхню;

L – половина довжини рослинних решток.

Так як

$$\frac{x_A - x_B}{y_A - y_B} = \operatorname{tg} \varepsilon,$$

то

$$(y_A - y_B)^2 = L_{xy}^2 \cos^2 \varepsilon.$$

Таким чином:

$$x_B = \Phi(y_A) + L_{xy} \sin \varepsilon, \quad y_B = y_A - L_{xy} \cos \varepsilon. \quad (2.50)$$

В подальшому індекс A в координатах x_A, y_A опускається. Рівняння руху рослинних решток знаходиться з використанням рівнянь Лагранжа другого роду (2.2), де $q = (y, \varepsilon)^T$ – вектор узагальнених координат, які визначають рух рослинних решток; (y, ε) – поточні координати рослинних решток.

Кінетичну енергію рослинних решток визначаємо за формулою (2.3). При цьому швидкість \bar{V}_A точки A , кутова швидкість обертання рослинних решток $\bar{\omega}$ та їх тензор інерції J в проекціях на осі системи $OXYZ$ враховуючи (2.49) відповідно рівні:

$$\bar{V} = (\Phi'_y \dot{y}, \dot{y}, 0)^T, \quad \bar{\omega} = (0, 0, \dot{\varepsilon})^T,$$

$$J = \frac{mL^2}{3} \cdot \text{Diag}(1 - \cos^2 \varphi \sin^2 \varepsilon, 1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \varepsilon, \cos^2 \varphi). \quad (2.51)$$

Підставивши (2.51) в (2.3), отримаємо:

$$T = \frac{m(\Phi_y'^2 + 1)\dot{y}^2}{2} + \frac{mL_{xy}^2}{6} \dot{\varepsilon}^2. \quad (2.52)$$

Потенціальна енергія рослинних решток аналогічно (2.7) рівна:

$$\Pi = -\bar{P}\delta\bar{s}_C - \bar{N}_1\delta\bar{s}_B - \bar{F}_1\delta\bar{s}_B - \bar{N}_2\delta\bar{s}_A - \bar{F}_2\delta\bar{s}_A. \quad (2.53)$$

При заданих елементарних переміщеннях $\delta y, \delta \varepsilon$ узагальнених координат:

$$\delta\bar{s}_A = (\Phi'_y \delta y, \delta y, 0)^T, \quad \delta\bar{s}_B = (\Phi'_y \delta y + \delta \varepsilon L_{xy} \cos \varepsilon, \delta y + \delta \varepsilon L_{xy} \sin \varepsilon, 0)^T,$$

$$\delta \bar{s}_C = \left(\Phi'_y \delta y + \delta \varepsilon \frac{L_{xy}}{2} \cos \varepsilon, \delta y + \delta \varepsilon \frac{L_{xy}}{2} \sin \varepsilon, 0 \right)^T. \quad (2.54)$$

Вектори сил, що діють на рослинну рештку:

а) сила ваги:

$$\bar{P} = (0, 0, -mg)^T, \quad (2.55)$$

де m – маса рослинних решток,

б) сила реакцій поверхні поля:

$$\bar{N}_1 = (0, 0, N_1)^T; \quad (2.56)$$

в) сила реакцій стеблевідводу:

$$\bar{N}_2 = (-N_{xy} \cos \theta, N_{xy} \sin \theta, N_z)^T, \quad (2.57)$$

де N_{xy}, N_z – проекції вектора \bar{N}_2 відповідно на вісь OZ і площину OXY ;

θ – кут, який утворює вектор \bar{N}_{xy} з віссю OX .

г) сила тертя рослинних решток по поверхні поля направлена по дотичній до траєкторії точки B в напрямку протилежному його рухові:

$$\bar{F}_1 = -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} (\bar{V}_B - \bar{V}_c) = -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} (\dot{x}_B, \dot{y}_B + V_c, 0)^T, \quad (2.58)$$

де $\bar{V}_c = (0, -V_c, 0)^T$ – вектор швидкості руху сошника;

f_1 – коефіцієнт сили тертя при русі рослинних решток по поверхні поля;

$$\dot{x}_B = \Phi'_y \dot{y} + \dot{\varepsilon} L_{xy} \cos \varepsilon, \quad \dot{y}_B = \dot{y} + \dot{\varepsilon} L_{xy} \sin \varepsilon;$$

$$|\bar{V}_B - \bar{V}_c| = \sqrt{(\Phi'_y \dot{y} + \dot{\varepsilon} L_{xy} \cos \varepsilon)^2 + (V_c + \dot{y} + \dot{\varepsilon} L_{xy} \sin \varepsilon)^2}.$$

д) сила тертя рослинних решток по поверхні стеблевідводу направлена по дотичній до кривої $x = \Phi(y)$ в протилежному напрямку руху точки A :

$$\bar{F}_2 = \frac{f_2 N_2}{\sqrt{1 + \Phi_y'^2}} (\Phi_y', 1, 0)^T, \quad (2.59)$$

де f_2 - коефіцієнт сили тертя при рухові рослинних решток по стеблевідводу;

$N_2 = \sqrt{N_{xy}^2 + N_z^2}$ - модуль сили реакції стеблевідводу.

Підставивши (2.54–2.59) в (2.53) і враховуючи, що $\bar{N}_2 \perp \delta \bar{s}_A$ отримаємо:

$$\begin{aligned} \Pi = \frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi_y' \dot{y} + \dot{L}_{xy} \cos \varepsilon)(\Phi_y' \delta y + \delta \varepsilon L_{xy} \cos \varepsilon) + \\ + (V_c + \dot{y} + \dot{L}_{xy} \sin \varepsilon)(\delta y + \delta \varepsilon L_{xy} \sin \varepsilon)] - f_2 N_2 \sqrt{1 + \Phi_y'^2} \delta y. \end{aligned} \quad (2.60)$$

З (2.52) знаходимо ліві частини рівнянь Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} - \frac{\partial T}{\partial y} = m[(\Phi_y'^2 + 1)\ddot{y} + \dot{y}^2 \Phi_{yy}''], \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varepsilon}} - \frac{\partial T}{\partial \varepsilon} = \ddot{\varepsilon} \frac{mL^2}{3} \cos^2 \varphi. \quad (2.61)$$

З (2.60) знаходимо праві частини рівнянь Лагранжа:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial \Pi}{\partial \delta y} &= -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi_y' \dot{y} + \dot{L}_{xy} \cos \varepsilon) \Phi_y' + V_c + \dot{y} + \dot{L}_{xy} \sin \varepsilon] + f_2 N_2 \sqrt{1 + \Phi_y'^2}, \\ -\frac{\partial \Pi}{\partial \delta \varepsilon} &= -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi_y' \dot{y} + \dot{L}_{xy} \cos \varepsilon) L_{xy} \cos \varepsilon + (V_c + \dot{y} + \dot{L}_{xy} \sin \varepsilon) L_{xy} \sin \varepsilon]. \end{aligned} \quad (2.62)$$

Підставивши (2.61), (2.62) в (2.2), отримаємо систему рівнянь, яка описує рух рослинних решток:

$$\begin{aligned} m[(\Phi_y'^2 + 1)\ddot{y} + \dot{y}^2 \Phi_{yy}''] &= -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi_y' \dot{y} + \dot{L}_{xy} \cos \varepsilon) \Phi_y' + \\ &+ V_c + \dot{y} + \dot{L}_{xy} \sin \varepsilon] + f_2 N_2 \sqrt{1 + \Phi_y'^2}, \end{aligned}$$

$$\ddot{\varepsilon} \frac{m}{3} = - \frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi'_y \dot{y} \cos \varepsilon + (V_c + \dot{y}) \sin \varepsilon + \dot{\varepsilon} L_{xy})]. \quad (2.63)$$

де $|\bar{V}_B - \bar{V}_c| = \sqrt{(\Phi'_y \dot{y} + \dot{\varepsilon} L_{xy} \cos \varepsilon)^2 + (V_c + \dot{y} + \dot{\varepsilon} L_{xy} \sin \varepsilon)^2}$.

Система (2.63) є системою двох рівнянь відносно чотирьох невідомих величин y , ε , N_1 , N_2 . Визначимо реакції N_1 , N_2 .

Так як в площині ($AA'B$) рослини рештки є нерухомими, то з співвідношень статки:

$$N_1 = N_z = \frac{mg}{2}. \quad (2.64)$$

З рис. 2.6 випливає, що

$$N_{xy} = f_1 N_1 \cos(\varepsilon - \alpha_{F_2}) \sin(\theta + \varepsilon);$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{F_1} = \frac{V_{Bx}}{V_{By}} = \frac{\Phi'_y \dot{y} + \dot{\varepsilon} L_{xy} \cos \varepsilon}{V_c + \dot{y} + \dot{\varepsilon} L_{xy} \sin \varepsilon},$$

де α_{F_1} – кут, який утворює сила \bar{F}_1 з віссю OY .

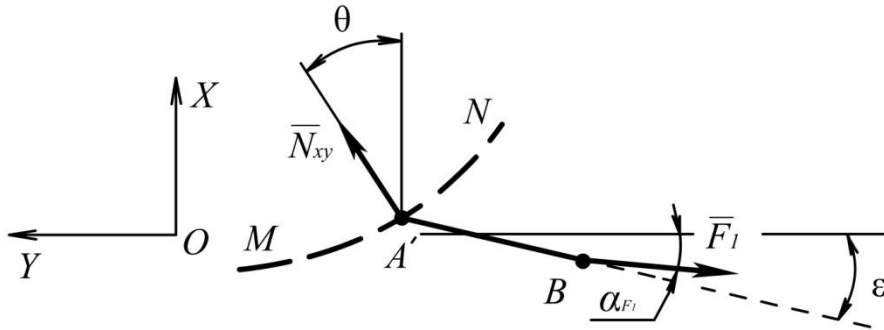


Рис. 2.6. Схема визначення реакції \bar{N}_{xy}

Таким чином:

$$N_1 = \frac{mg}{2}, \quad N_2 = \frac{mg}{2} \sqrt{[f_1 \cos(\varepsilon - \alpha_{V_B - V_c}) \sin(\theta + \varepsilon)]^2 + 1}. \quad (2.65)$$

Підставивши (2.65) в систему (2.63) отримаємо:

$$(\Phi_y'^2 + 1)\ddot{y} + \dot{y}^2 \Phi_{yy}'' = - \frac{f_1 g}{2|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [V_c + (1 + \Phi_y'^2)\dot{y} + \dot{\varepsilon}(\Phi_y' \cos \varepsilon + \sin \varepsilon)L_{xy}] +$$

$$+ \frac{g}{2} f_2 \sqrt{[f_1 \cos(\varepsilon - \alpha_{V_B - V_c}) \sin(\theta + \varepsilon)]^2 + 1} \sqrt{1 + \Phi_y'^2},$$

$$\ddot{\varepsilon} = -\frac{3f_1 g}{2|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [\Phi_y' \dot{y} \cos \varepsilon + (V_c + \dot{y}) \sin \varepsilon + \dot{\varepsilon} L_{xy}]. \quad (2.66)$$

Система (2.66) є системою двох рівнянь з двома невідомими y і ε . Її потрібно розв'язати при граничних умовах:

$$\varepsilon(0) = \varepsilon'(0) = 0, \quad y(0) = y_0, \quad y'(0) = y'_0. \quad (2.67)$$

Отримані рівняння дають можливість оцінювати оптимальність параметрів стеблевідводу. В аналітичному вигляді система (2.66) не розв'язується, тому для її розв'язку застосовуємо наближений метод з використанням пакету прикладних програм Mathcad.

Аналіз графічних залежностей рис. 2.7 показує, що під час руху рослинних решток на криволінійній ділянці стеблевідводу під дією відцентрових вони повертаються навколо його повздовжньої вісі, що може призвести до їх звалювання і попадання на стояк.

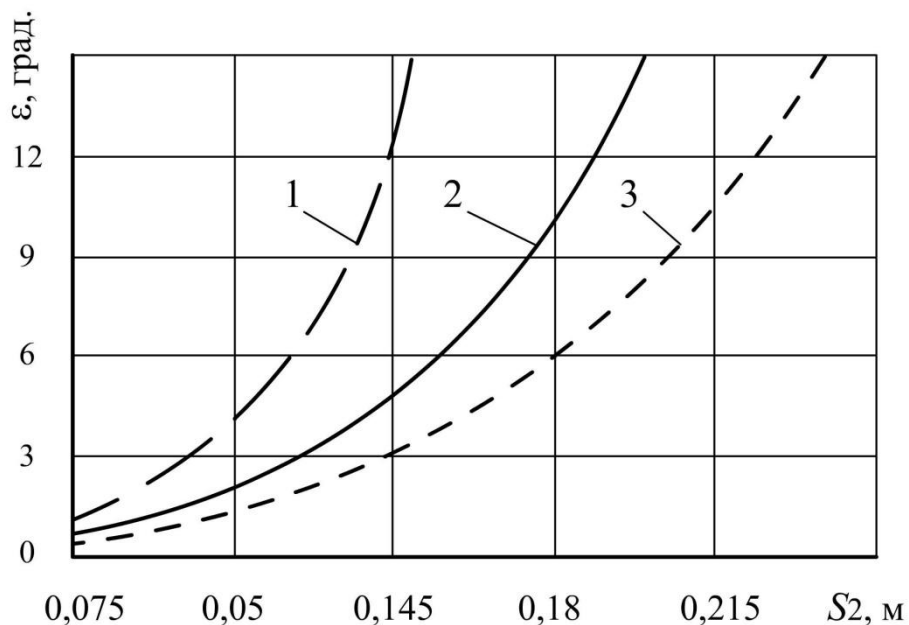


Рис. 2.7. Залежність кута ε відхилення рослинних решток від вертикальної вісі під час руху по горизонтальній ділянці стеблевідводу: $f_1 = 0,8$; $f_2 = 0,37$;

$\mu = 0,25$, $V_c = 15$ км/год; 1 – $R_1 = 0,15$ м; 2 – $R_1 = 0,225$ м; 3 – $R_1 = 0,3$ м

В реальних умовах рослинні рештки під час руху по стеблевідводу мають непрямолінійну форму, і сошник має скінченні розміри. Тому оптимальною будемо вважати форму стеблевідводу, яка задовольнятиме такі умови:

- буде компактною (малою за габаритними розмірами);
- під час руху рослинних решток по стеблевідводу їхня нижня точка (B_1 або B_2 , рис. 2.2) не буде контактувати з стояком сошника, тобто точка B проходитиме на відстані не меншій ніж $b_{см.}/2$, де $b_{см.}$ – товщина поперечного перерізу стояка сошника.

При більших значеннях радіусу стеблевідводу зростає швидкість руху рослинних решток по ньому і покращуються умови їх відведення від стояка. З іншого боку (рис. 2.8), для виконання умови непопадання їх на стояк (траєкторія руху точки B не перетинається з стояком сошника), горизонтальну ділянку необхідно розміщувати подалі від долота, що призводить до значного підвищення габаритних розмірів сошника.

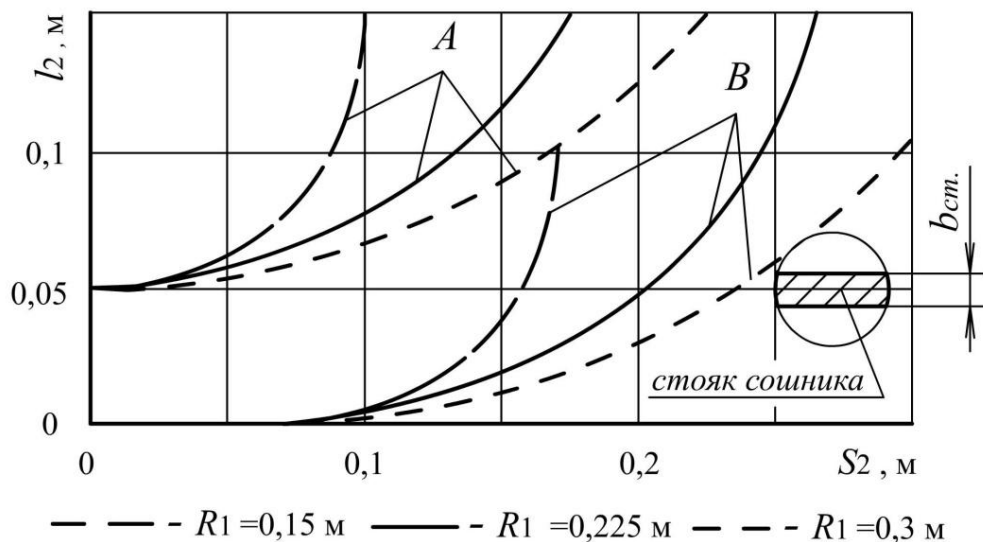


Рис. 2.8. Траєкторії руху рослинних решток по поверхні стеблевідводу (криві A) і по поверхні поля (криві B): $f_1 = 0,8$, $f_2 = 0,37$, $L = 0,1 \text{ м}$,

$$V_c = 15 \text{ км/год}$$

2.4. Аналіз процесу роботи стеблевідводу з рослинними рештками, які утримуються в ґрунті кореневою системою

Проаналізуємо процес взаємодії стеблевідводу сошника із рослинними рештками, які утримуються кореневою системою. Якщо пряма руху стеблевідводу не проходить через кореневу систему, то коренева система разом з своєю зовнішньою частиною залишається на місці. В протилежному випадкові остання або розривається і залишаються в ґрунті, або виривається з нього і при нульовій відносній початковій швидкості піднімається по стеблевідводу. При цьому по ньому рухатиметься саме кореневище (важча частина, так як воно в більшості випадків вологе з частками ґрунту), а надґрунтова частина (легша), буде обвисати по обидві сторони.

Вияснимо як високо самостійно зможуть піднятися по вільному стеблевідводу i -ті кореневі рештки під дією сили тертя $\bar{F}_{\text{тр}1i}$ по поверхні поля. Для цього визначимо максимальне значення кута φ_i , при якому рослинні рештки маючи нульову початкову швидкість не зможуть підніматися по стеблевідводу (рис. 2.9). Запишемо умови статичної рівноваги рослинних решток при умові, що вони однорідні: рівність нулю головного вектора зовнішніх сил $\bar{\mathbf{R}}_i^{(e)}$, що діють на них, та рівність нулю головного моменту зовнішніх сил $\bar{\mathbf{M}}_{B_i}^{(e)}$:

$$\bar{\mathbf{R}}_i^{(e)} = \bar{\mathbf{F}}_{\text{тр}1i} + \bar{\mathbf{F}}_{\text{тр}2} + \bar{\mathbf{N}}_{1i} + \bar{\mathbf{N}}_{2i} + \bar{\mathbf{P}} = 0, \quad (2.68)$$

$$\bar{\mathbf{M}}_{B_i}^{(e)} = \bar{\mathbf{B}}_i \bar{\mathbf{A}}_i \times \bar{\mathbf{F}}_{\text{тр}2i} + \bar{\mathbf{B}}_i \bar{\mathbf{A}}_i \times \bar{\mathbf{N}}_{2i} + \bar{\mathbf{B}}_i \bar{\mathbf{C}}_i \times \bar{\mathbf{P}} = 0, \quad (2.69)$$

де $\bar{\mathbf{P}} = m\bar{\mathbf{g}}$ – сила ваги рослинних решток;

m – маса i -х рослинних решток;

$\bar{\mathbf{N}}_{1i}, \bar{\mathbf{N}}_{2i}$ – сила реакції, відповідно, ґрунту і стеблевідводу;

$\bar{\mathbf{F}}_{\text{тр}1i}$, $\bar{\mathbf{F}}_{\text{тр}2i}$ – сили тертя під час руху i -ї кількості рослинних решток, відповідно, по поверхні поля та стеблевідводу ($F_{\text{тр}1i} = N_{1i}f_1$, $F_{\text{тр}2i} = N_{2i}f_2$).

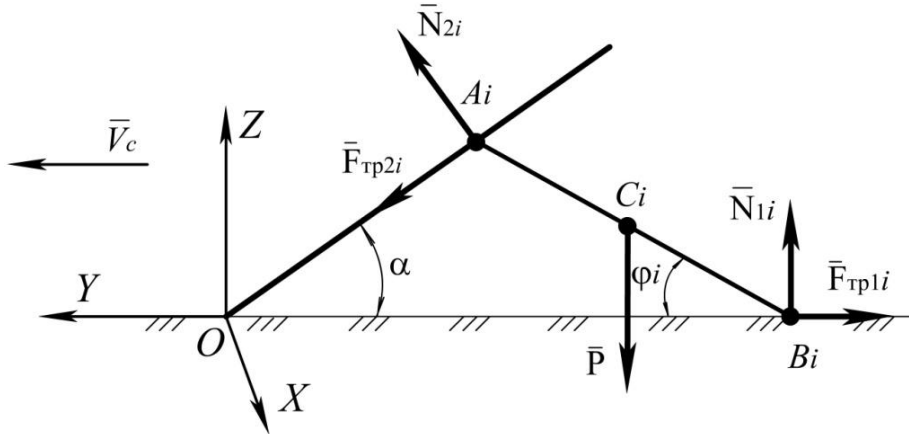


Рис. 2.9. Схема дії статичних сил на рослинні рештки в момент їх зупинки:

A_iB_i – рослинні рештки; C_i – центр ваги рослинних решток A_iB_i ; OA_i – стеблевідвід; α – кут нахилу стеблевідводу; φ_i – кут нахилу рослинних решток до поверхні поля

В проекціях на осі декартової системи координат $OXYZ$ рівняння (2.68) матиме вигляд:

$$N_{1i}f_1 - N_{2i}f_2 \cos \alpha - N_{2i} \sin \alpha = 0, \quad (2.70)$$

$$-N_{2i}f_2 \sin \alpha + N_{1i} + N_{2i} \cos \alpha - mg = 0. \quad (2.71)$$

З рівнянь (2.70), (2.71) знаходимо реакції N_{1i}, N_{2i} :

$$N_{1i} = mg \frac{f_2 + \operatorname{tg} \alpha}{f_1 + f_2 + (1 - f_1 f_2) \operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.72)$$

$$N_{2i} = mg \frac{f_1}{(f_1 + f_2) \cos \alpha + (1 - f_1 f_2) \sin \alpha}. \quad (2.73)$$

Рівняння (2.69) можна записати у вигляді:

$$\overline{\mathbf{B}_i \mathbf{A}_i} \times (2\bar{\mathbf{F}}_{\text{тр}2i} + 2\bar{\mathbf{N}}_{2i} + \bar{\mathbf{P}}) = 0, \quad (2.74)$$

або в координатній формі:

$$\begin{aligned} & -L \cdot \cos \varphi_i (-2f_2 N_{2i} \sin \alpha + 2N_{2i} \cos \alpha - mg) - \\ & -L \cdot \sin \varphi_i (-2f_2 N_{2i} \cos \alpha - 2N_{2i} \sin \alpha) = 0, \end{aligned} \quad (2.75)$$

де L – половина довжини рослинних решток.

З (2.75) виражаємо тангенс кута φ_i :

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\cos \alpha - f_2 \sin \alpha - \frac{mg}{2N_{2i}}}{f_2 \cos \alpha + \sin \alpha}, \quad (2.76)$$

враховуючи (2.73) знаходимо сам кут φ_i :

$$\varphi_i = \operatorname{arctg} \frac{f_1 - f_2 - (1 + f_1 f_2) \operatorname{tg} \alpha}{2 f_1 (f_2 + \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (2.77)$$

Так як рослинні рештки з кореневою системою не однорідні і їхня важча частина знаходиться на стеблевідводі, то в реальних умовах сила опору $F_{\text{тр}2}$ є більшою, а сила – $F_{\text{тр}1}$ меншою, тому реальне значення кута φ_i буде меншим за знайдене в (2.76). З рівності (2.76) можна знайти максимально допустиму висоту розташування горизонтальної ділянки стеблевідводу:

$$H1 = L \frac{f_1 - f_2 - (1 + f_1 f_2) \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{4 f_1^2 (f_2 + \operatorname{tg} \alpha)^2 + [f_1 - f_2 - (1 + f_1 f_2) \operatorname{tg} \alpha]^2}}. \quad (2.78)$$

З аналізу (2.77), (2.78) при різних допустимих значеннях коефіцієнтів тертя f_1, f_2 , рис. 2.10-2.11 та останнього зауваження можна зробити висновок, що рослинні рештки після виривання із ґрунту в результаті дії тільки сили тертя піднімаються по стеблевідводу на незначну висоту, яка недостатня для їх попадання на горизонтальну ділянку.

Для забезпечення руху рослинних решток на похилій ділянці стеблевідводу за рахунок сил тертя необхідно зменшувати кут його нахилу, що призведе до збільшення габаритних розмірів, чи зменшувати сили тертя по стеблевідводу та підвищувати їх по поверхні поля. Якщо останнє залежить від багатьох факторів, на які дуже важко впливати, то для зменшення сил тертя по поверхні стеблевідводу необхідно вибирати для його виготовлення матеріали з як можна меншими коефіцієнтами тертя.

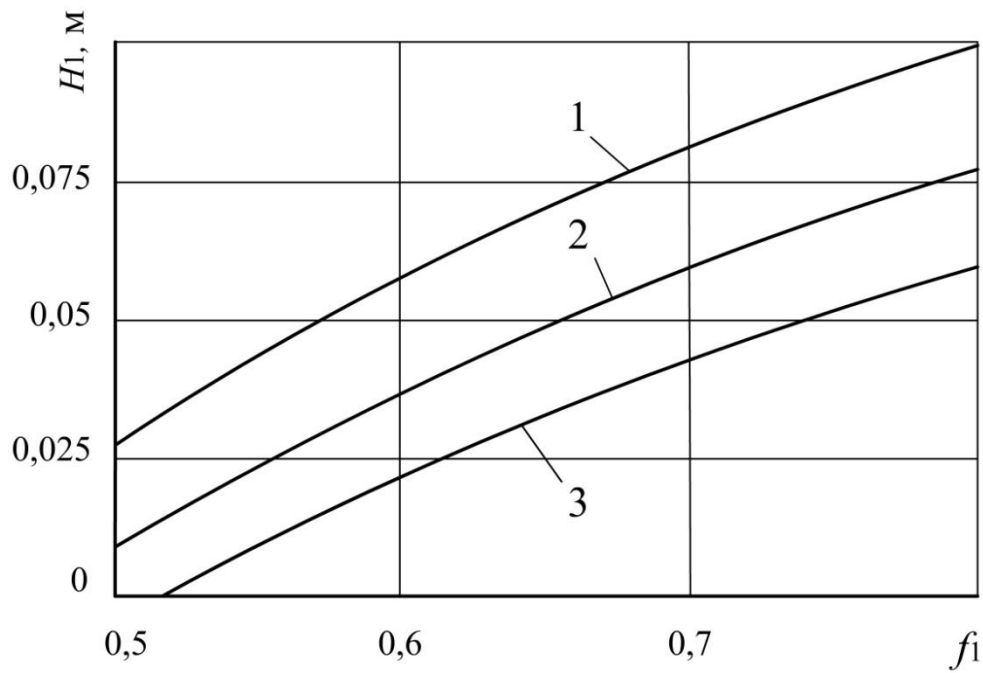


Рис. 2.10. Максимально можлива висота піднімання рослинних решток під дією сил тертя по похилій ділянці стеблевідводу:

1 – $f_2 = 0,3$; 2 – $f_2 = 0,4$; 3 – $f_2 = 0,5$; $\alpha = 20^\circ$; $L = 0,2$ м

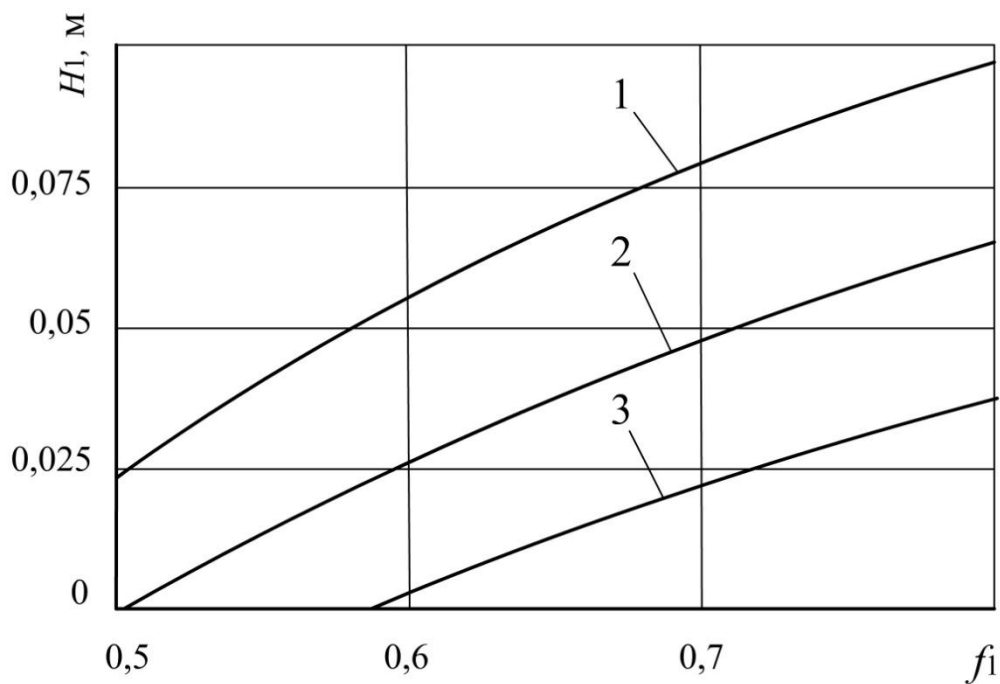


Рис. 2.11. Максимально можлива висота піднімання рослинних решток під дією сил тертя по похилій ділянці стеблевідводу:

1 – $\alpha = 15^\circ$; 2 – $\alpha = 25^\circ$; 3 – $\alpha = 35^\circ$; $f_2 = 0,37$ с; $L = 0,2$ м

В реальних умовах рух рослинних решток здійснюється наступним чином: перша частина рослинних решток після виривання із ґрунту залишається біля основи стеблевідводу, при вириванні наступної кореневої системи з'являється додаткова значна сила, яка перевищує сили опору руху по стеблевідводу попередньої порції рослинних решток і тому останні переміщуються по ньому на відстань, яка дорівнює товщині своєрідної порції наступних рослинних решток. При підході до наступної кореневої системи і при її вириванні з'являється нова сила, яка перемістить попередні рослинні рештки по стеблевідводу ще на одну відстань товщини наступних рослинних решток і так далі. При цьому рослині рештки другого типу, які попадатимуть на стеблевідвід, самотійно не зможуть підніматися по ньому, а знаходитимуться між рослинними рештками третього типу і рухатимуться разом з ними.

В подальшому розглядатимемо рух тільки тих рослинних решток, які доходять до сошника і припускаємо, що:

- рослинні рештки при зустрічі з сошником згинаються навпіл з майже однаковими ланками;
- сила \bar{F} така, що рух потоку рослинних решток по стеблевідводу постійний, тобто йому не перешкоджає зіткнення деяких рослинних решток з сошником, вони сходять з стеблевідводу і не затримуються на ньому.

Отже, рослинні рештки рухаються по стеблевідводу під дією деякої постійної досить значної сили \bar{F} практично неперервним потоком з постійною швидкістю V :

$$V = \mu V_c, \quad (2.79)$$

де μ – коефіцієнт лінійної густини рослинних решток на поверхні поля;

V_c – швидкість руху сівалки.

Коефіцієнт лінійної густини рослинних решток на поверхні поля – це відношення довжини стеблевідводу до шляху, який пройде сошник з моменту попадання рослинних решток на стеблевідвід до моменту сходження з нього.

Для встановлення умови руху неперервного потоку рослинних решток по стеблевідводу сошника визначимо максимальний кут нахилу похилої ділянки стеблевідводу α , при якому може відбуватися рух рослинних решток (рис. 2.12).

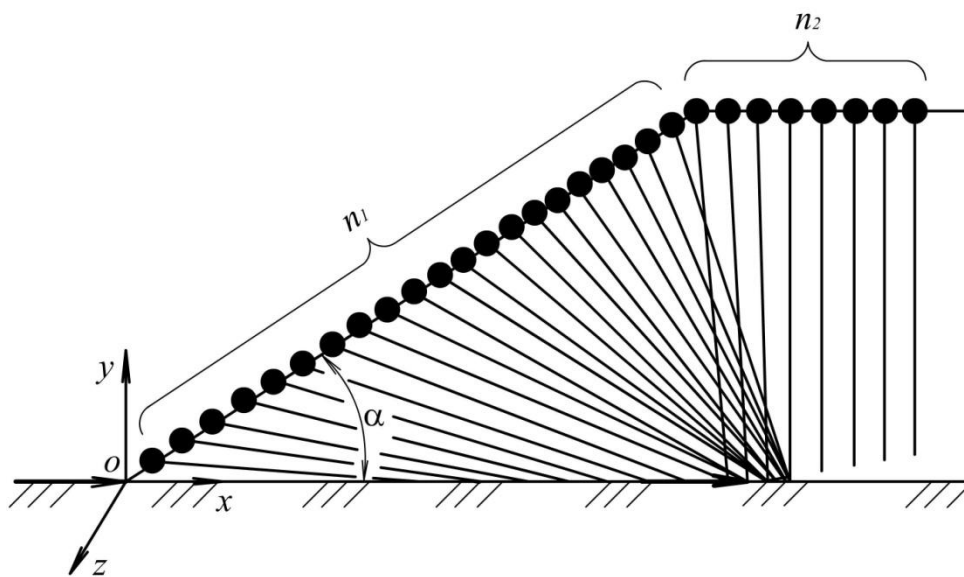


Рис. 2.12. Схема руху рослинних решток по стеблевідводу

Нехай стеблевідвід повністю завантажений рослинними рештками і на похилій ділянці їх знаходиться n_1 , а на горизонтальній – n_2 штук. Запишемо умову руху неперервного потоку рослинних решток по стеблевідводу. Для цього сила \bar{F} , яка виникає при зіткненні стеблевідводу з черговою порцією рослинних решток, повинна давати таку складову $(\bar{F})_{OA}$ направлену вздовж похилої ділянки стеблевідводу, яка забезпечує недодатність усіх головних моментів зовнішніх сил: $(\bar{M}_{B_i}^{(e)})_z \leq 0, / i = \overline{1, n_1} /$ для рослинних решток, що знаходяться на похилій ділянці стеблевідводу, та компенсувала б сили тертя тих з них, що знаходяться на горизонтальній ділянці стеблевідводу, тобто має виконуватися умова:

$$(\bar{\mathbf{F}})_{OA} \geq \sum_{i=1}^{n_1} F_i + \sum_{i=1}^{n_2} F_{\text{тр}2i}, \quad (2.80)$$

де F_i , $/i=\overline{1, n_1}/$ – сила, яка прикладена в точці A_i і направлена вздовж похилої ділянки стеблевідводу, і при якій головний момент зовнішніх сил i -тих рослинних решток на підйомній ділянці рівний нулю;
 $F_{\text{тр}2i}$ – сила тертя i -тої складової рослинних решток, що знаходяться на горизонтальній ділянці стеблевідводу.

Знайдемо сили F_i , $/i=\overline{1, n_1}/$. Аналогічно (2.74) запишемо головний момент i -тих рослинних решток з урахуванням додаткової сили $\bar{\mathbf{F}}$:

$$\bar{\mathbf{M}}_{B_i}^{(e)} = \overline{\mathbf{B}_i \mathbf{A}_i} \times (2\bar{\mathbf{F}}_i + 2\bar{\mathbf{F}}_{\text{тр}2i} + 2\bar{\mathbf{N}}_{2i} + \bar{\mathbf{P}}) < 0, \quad (2.81)$$

В координатній формі умова (2.81) має вигляд:

$$\begin{aligned} & -L \cos \varphi_i (2F_i \sin \alpha - 2F_{\text{тр}2i} \sin \alpha + 2N_{2i} \cos \alpha) - \\ & -L \sin \varphi_i (2F_i \cos \alpha - 2F_{\text{тр}2i} \cos \alpha - 2N_{2i} \sin \alpha - mg) < 0. \end{aligned}$$

З останньої нерівності отримуємо:

$$F_i > N_{2i} [f_2 - \text{ctg}(\varphi_i + \alpha)] + \frac{mg}{2} \frac{\sin \varphi_i}{\sin(\varphi_i + \alpha)},$$

або враховуючи (2.71)

$$F_i > \frac{mg}{2} \left(\frac{2f_1[f_2 - \text{ctg}(\varphi_i + \alpha)]}{(f_1 + f_2) \cos \alpha + (1 - f_1 f_2) \sin \alpha} + \frac{\sin \varphi_i}{\sin(\varphi_i + \alpha)} \right). \quad (2.82)$$

Вираз в круглих дужках, тобто функція

$$F_i(\varphi_i) = \frac{2f_1[f_2 - \text{ctg}(\varphi_i + \alpha)]}{(f_1 + f_2) \cos \alpha + (1 - f_1 f_2) \sin \alpha} + \frac{\sin \varphi_i}{\sin(\varphi_i + \alpha)}$$

є зростаючою функцією свого аргументу, так як

$$\frac{dF_i(\varphi_i)}{d\varphi_i} = \frac{\frac{2f_1}{(f_1 + f_2)\cos\alpha + (1 - f_1f_2)\sin\alpha} + \sin\alpha}{\sin^2(\varphi_i + \alpha)} > 0. \quad (2.83)$$

Знайдемо кількість рослинних решток на похилій та горизонтальній ділянках стеблевідводу і залежність кута φ_i від індексу i – порядкового номера рослинних решток. Нехай усереднений діаметр рослинних решток d_p , а довжина горизонтальної ділянки S_2 , тоді кількість рослинних решток на похилій та горизонтальній ділянках стеблевідводу відповідно рівна:

$$n_1 = \frac{L}{d_p \sin\alpha}, \quad n_2 = \frac{S_2}{d_p}. \quad (2.84)$$

За теоремою синусів для трикутника OA_iB_i маємо:

$$\frac{id_p}{\sin\varphi_i} = \frac{L}{\sin\alpha}$$

і

$$\varphi_i = \arcsin\left(\frac{id_p}{L} \sin\alpha\right). \quad (2.85)$$

Зауважимо, що проекція $(\bar{\mathbf{F}})_{OA}$ рівна:

$$(\bar{\mathbf{F}})_{OA} = |\bar{\mathbf{F}}|(\cos\alpha - f_2 \sin\alpha). \quad (2.86)$$

Таким чином враховуючи співвідношення (2.83), (2.84), (2.86) і те, що на горизонтальній ділянці стеблевідводу $F_{\text{тп}2i} \approx f_2 mg$, з нерівності (2.80) отримуємо умову неперервного руху потоку рослинних решток по стеблевідводу:

$$\frac{2|\bar{\mathbf{F}}|}{mg}(\cos\alpha - f_2 \sin\alpha) - \sum_{i=1}^{n_1} \left(\frac{2f_1[f_2 - \text{ctg}(\varphi_i + \alpha)]}{(f_1 + f_2)\cos\alpha + (1 - f_1f_2)\sin\alpha} + \frac{\sin\varphi_i}{\sin(\varphi_i + \alpha)} \right) - \frac{2S_2}{d_p} f_2 \geq 0. \quad (2.87)$$

Складова $(\bar{F})_{OA}$, (рис. 2.13) сили \bar{F} , яка виникає при зіткненні стеблевідводу з черговою порцією рослинних решток і направлена вздовж похилої ділянки стеблевідводу достатня для забезпечення умови руху неперервного потоку рослинних решток при значення $f_1 > 0,62$, $f_2 < 0,37$, $\alpha = 30^\circ$ на довжину $S_1 = 0,02$ м. Неперервності потоку рослинних решток сприяє зменшення сил тертя по поверхні стеблевідводу та збільшення по поверхні поля.

При значеннях $f_1 < 0,62$ та $f_2 > 0,37$ рослинні рештки розвертаються і рухаються в зворотному напрямку, тобто сповзають зі стеблевідводу. Найбільш сприятливі умови руху рослинних решток створюються при $f_1 = 0,8$, $f_2 = 0,2 \dots 0,25$, $\alpha = 27 \dots 30$.

Якщо рослинні рештки не зійшли із стеблевідводу при підніманні на похилій ділянці, то після виходу на горизонтальну частину вони можуть зійти тільки під дією відцентрової сили. У випадку рівномірного розподілу рослинних решток по довжині на стеблевідводі, відцентрові сили, які діятимуть в основному на нижні їх частини, будуть компенсувати одна одну і при цьому збільшувати силу тертя по ньому.

В іншому випадку, коли основна маса рослинних решток сконцентрована в верхній ділянці стеблевідводу, відцентрова сила буде направлена на скидання основної їх верхньої частини з нього.

Протидіяти цьому будуть два фактори:

- коефіцієнт тертя поперечному рухові;
- сила, яка протидіє зміні форми рослинних решток.

Будемо вважати, що до виходу рослинних решток на горизонтальну частину стеблевідводу запас сили протидії поперечному її рухові рівний нулю. Тоді, для відсутності в подальшому поперечного руху рослинних решток відцентрова сила повинна бути не більшою нової сили, яка йому протидіє. Виходячи з прийнятих припущень, що обвисання рослинних решток однакові по обидва боки стеблевідводу і відцентрові сили від цих

частин будуть компенсувати одна одну, поперечний рух рослинних решток може відбутися тільки в результаті звалювання її основної верхньої частини.

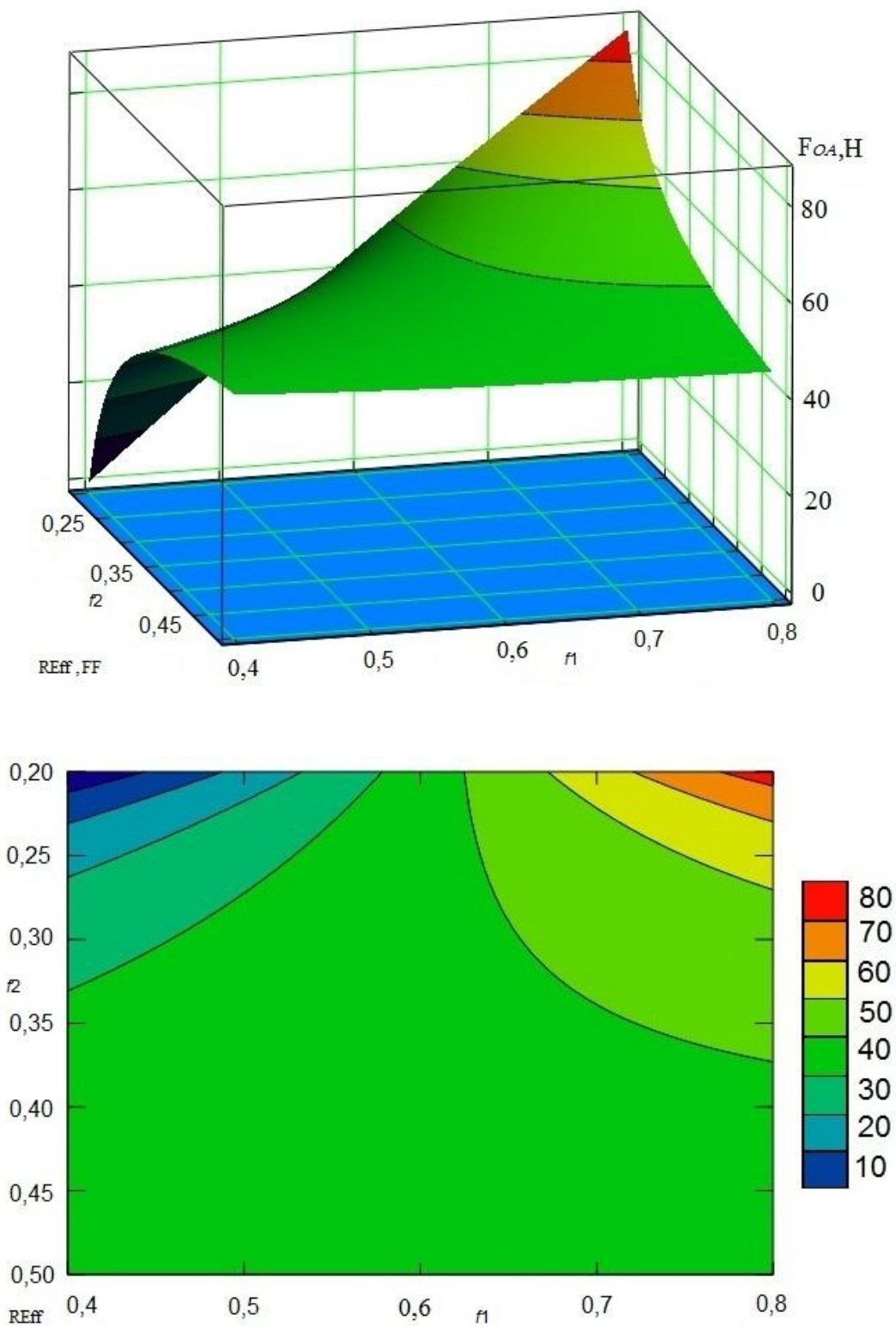


Рис. 2.13. Залежність сили переміщення потоку рослинних решток по стеблевідводу від тертя по поверхні поля f_1 та стеблевідводу f_2

Отже, умовою утримання рослинних решток на стеблевідводі є:

$$m_{\text{в}} \frac{V_c^2}{R} < F_{\text{тр.п.}} - F_{\text{тр.пр.}} + F_{\text{пр.ф.}}, \quad (2.88)$$

де V_c – швидкість руху рослинних решток по стеблевідводу;

$F_{\text{тр.п.}} = f_{2\text{п}}N$, $F_{\text{тр.пр.}} = f_2N$ – відповідно величина сил тертя, які протидіють поперечному і прямолінійному рухові рослинних решток на стеблевідводі;

$F_{\text{пр.ф.}} = gmk_{\text{пр.ф.}}$ – величина сили протидії зміні форми рослинних решток;

$N = mg$ – сила реакції стеблевідводу;

$k_{\text{пр.ф.}}$ – коефіцієнт протидії зміні форми рослинних решток;

$f_{2\text{п}}$ – коефіцієнт тертя при поперечному рухові рослинних решток по стеблевідводу;

$m_{\text{в}}$ – маса верхньої частини рослинних решток (кореневої системи).

З (2.88) отримуємо нижнє обмеження радіуса кривизни стеблевідводу:

$$R > \frac{V_c^2}{g(f_{2\text{п}} - f_2 + k_{\text{пр.ф.}})} \cdot \frac{m_{\text{в}}}{m}. \quad (2.89)$$

Аналіз (2.89) показує, що забезпечення мінімальних значень радіусу на другій ділянці стеблевідводу досягається при нижчих швидкостях руху сошника та меншому співвідношенні $m_{\text{в}} / m$, (рис. 2.14).

При цьому рослинні рештки повинні проходити на безпечній відстані від стояка сошника, яка рівна половині їх усередненої довжини, так як при меншій відстані рослинні рештки заклинять між стояком і стеблевідводом. Неперервного потоку руху рослинних решток по стеблевідводу, при збільшенні сили їх тертя (рис. 2.15) по його поверхні, можна досягти збільшенням радіусу. Так при $V=12$ км/год (3,33 м/с) і

збільшенні коефіцієнта тертя з $f_2 = 0,3$ до $f_2 = 0,8$ радіус стеблевідводу відповідно збільшується з 0,23 м до 0,3 м.

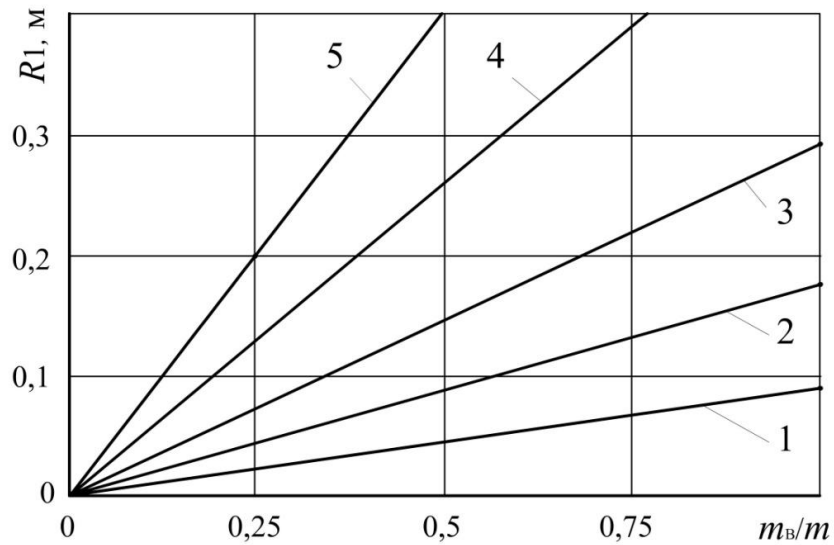


Рис. 2.14. Залежність мінімальних значень радіуса стеблевідводу $R1$ від співвідношення $m_{\text{в}} / m$ при V , м/с:

1 – 1,39; 2 – 1,94; 3 – 2,5; 4 – 3,33; 5 – 4,17; $f_2 = 0,37$; $\mu = 0,25$

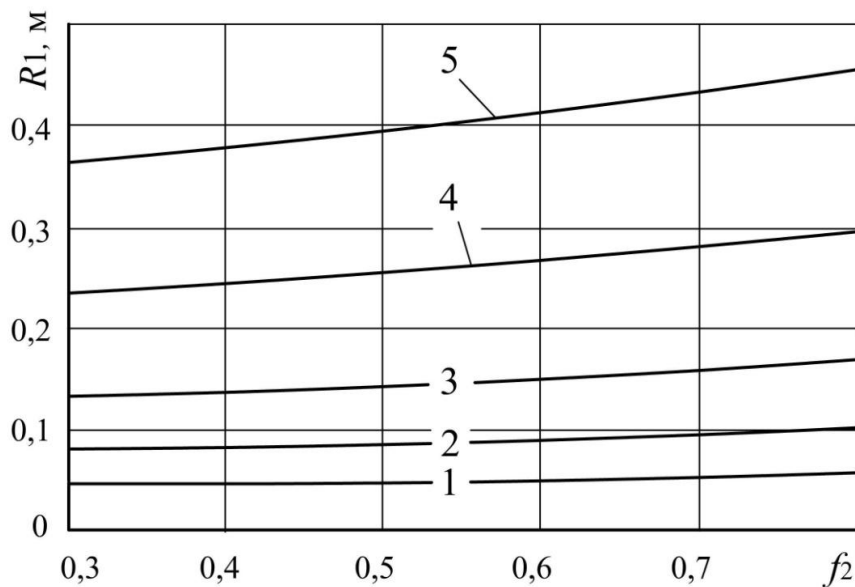


Рис. 2.15. Залежність мінімальних значень радіуса стеблевідводу $R1$ від коефіцієнта тертя рослинних решток по стеблевідводу f_2 V , м/с:

1 – 1,39; 2 – 1,94; 3 – 2,5; 4 – 3,33; 5 – 4,17; $f_{2\text{п}} = 0,74$; $\mu = 0,25$

Зменшити радіус горизонтальної ділянки стеблевідводу можна збільшенням сил, які протидіють провертанню рослинних решток під дією відцентрових сил (рис. 2.16). Таке можна досягти зміною форми поперечного перерізу стеблевідводу, чим збільшити сили опору поперечному рухові (тобто надати стеблевідводу на другій ділянці наприклад еліптичну форму з вертикальною великою піввіссю або трикутноподібну з гострим верхнім кінцем і вертикальною гранню на зовнішній частині).

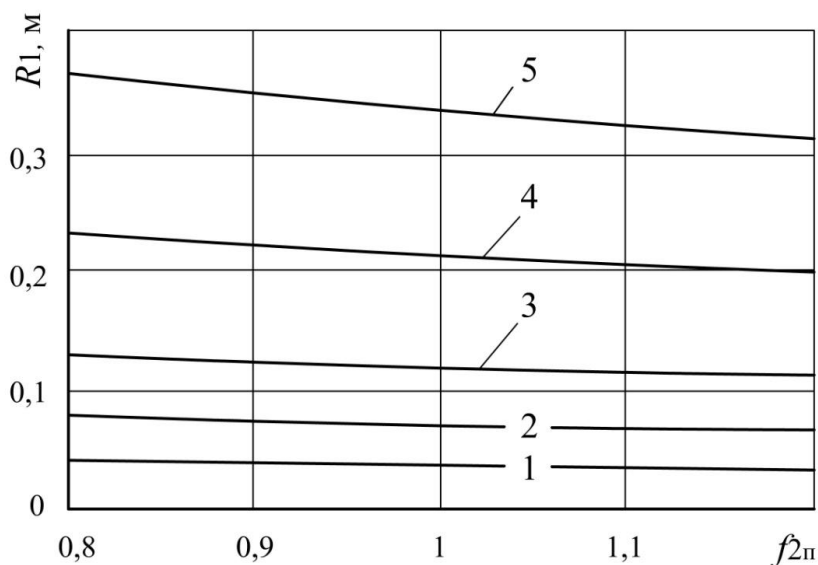


Рис. 2.16. Мінімальні значення радіуса стеблевідводу R_1 залежно коефіцієнта тертя рослинних решток при поперечному рухові $f_{2п}$ при V , м/с:

1 – 1,39; 2 – 1,94; 3 – 2,5; 4 – 3,33; 5 – 4,17; $f_2 = 0,37$; $\mu = 0,25$

Збільшення швидкості руху сівалки так як і густина рослинних решток на поверхні поля (рис. 2.17) призводять до підвищення мінімальних значень радіуса стеблевідводу. Так при швидкості руху сівалки $V = 3-4$ м/с і $\mu = 0,15$ мінімальний радіус горизонтальної ділянки стеблевідводу необхідно вибирати в межах $R_1 = 0,15 - 0,25$ м.

На третій ділянці стеблевідводу вирішується задача протилежна до другої ділянки, тому її форма тут повинна бути симетричною до неї відносно вертикальної площини.

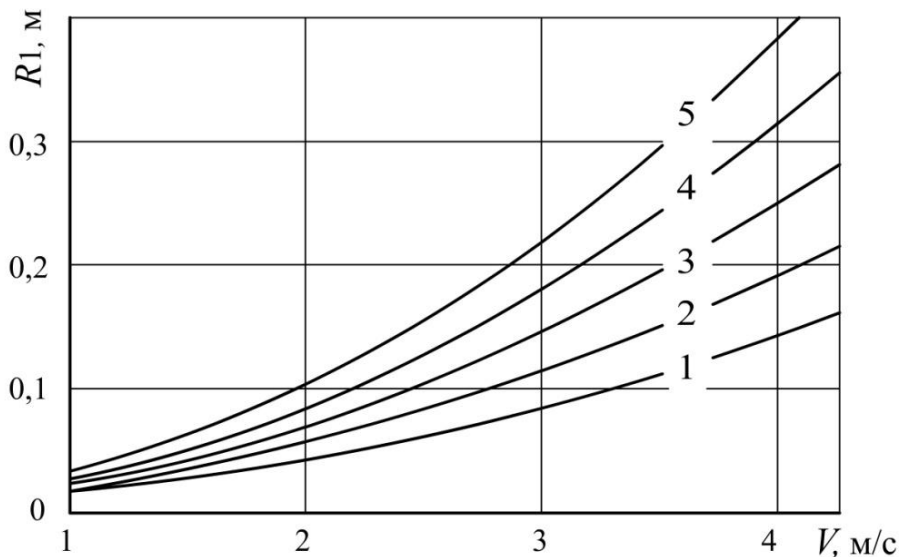


Рис. 2.17. Мінімальні значення радіуса стеблевідводу R_1 залежно від швидкості руху сівалки V при різній густині рослинних решток μ :

1 – 0,05; 2 – 0,1; 3 – 0,15; 4 – 0,2; 5 – 0,25

Результати теоретичних досліджень свідчать, що для роботи загортаючих робочих органів з гострим кутом входження в ґрунт обладнаних стеблевідводом найбільш несприятливими є тверді рослинні рештки дугоподібної форми та гнучкі, які вільно лежать на поверхні поля або утримуються у ґрунті кореневою системою.

Умови піднімання рослинних решток на першій похилій та відведення від стояка сошника на другій горизонтальній ділянках стеблевідводу кращі для рослинних решток більшої довжини, однак це потребує суттєвого збільшення його габаритних розмірів.

Зменшення довжини стеблевідводу на першій похилій ділянці можна досягти збільшенням кута нахилу α , максимальне значення якого обмежується критичними значеннями кутів нахилу рослинних решток до поверхні поля $\varphi_{кр1}$ і $\varphi_{кр2}$, при яких вони не зможуть самотійно піднятися на його горизонтальну частину.

Рослинні рештки після виривання із ґрунту під дією тільки різниці сил тертя по поверхні поля та стеблевідводу практично не піднімаються по

ньому, а рухаються неперервним потоком під тиском наступних рослинних решток з постійною швидкістю. Рослинні рештки довжиною не більше – 0,2 м, при швидкості руху сівалки $V=15$ км/год за рахунок сил тертя по поверхні поля ($f_1=0,8$) та стеблевідводу ($f_2=0,37$) зможуть піднятися на максимальну висоту $H_1=0,05$ м при $\alpha=0^0-9^0$, при $\alpha=9^0-48^0$ будуть знаходитися в стані спокою по відношенню до стеблевідводу, а при $\alpha > 48^0$ сповзатимуть з нього.

Під час руху рослинних решток на криволінійній ділянці стеблевідводу під дією відцентрових вони можуть повертатися навколо його поздовжньої вісі на кут $\varepsilon=12-15^0$, що може призвести до їх звалювання і попадання на стояк. Зменшити кут повороту можна збільшенням сил опору поперечному рухові, чого можна досягти зміною форми поперечного перерізу стеблевідводу.

Кут нахилу стеблевідводу α і радіус кривизни горизонтальної ділянки R_1 мають прямо пропорційну залежність від поступальної швидкості руху сівалки V . Так, при малих швидкостях руху сівалки $V=7\ldots 9$ км/год і кутові нахилу $\alpha=22^0$ радіус кривизни другої ділянки необхідно вибирати в межах $R_1=0,15-0,25$ м.

Для підвищення швидкості руху сівалки і забезпечення сприятливих умов роботи при більшій густині рослинних решток на поверхні поля та неперервного потоку руху рослинних решток по стеблевідводу необхідно підвищувати мінімальні значення радіусу другої ділянки стеблевідводу.

Основні геометричні і технологічні параметри стеблевідводу дозволяє встановити розроблена математична модель (2.66) процесу його взаємодії із рослинними рештками різних видів, з різними геометричними та технологічними характеристиками.

3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Перспективним напрямком в розробці робочих органів сільськогосподарських машин є обґрунтування на основі проведених теоретичних досліджень їх конструктивних, кінематичних, технологічних та експлуатаційних параметрів. В процесі теоретичних досліджень були отримані аналітичні залежності, які встановлюють зв'язок між конструктивними параметрами стеблевідводу сошника і геометричними та технологічними характеристиками рослинних решток. Однак, при описі процесу роботи стеблевідводу сошника практично неможливо передбачити і врахувати всі впливові фактори, які в тій чи іншій мірі обумовлюють точність отриманої математичної моделі. Одночасний вплив на рух рослинних решток по стеблевідводу багатьох факторів, не дозволяє описати процеси, що відбуваються з достатньою точністю тільки теоретичним шляхом. Найбільш достовірними вважаються результати дослідження працездатності посівних машин і їх робочих органів, які отримані експериментальним шляхом.

Метою експериментальних досліджень було уточнення встановленого за результатами теоретичних досліджень діапазону зміни раціональних значень параметрів стеблевідводу сошника для прямої сівби зернових культур, при яких забезпечується надійна і ефективна його робота.

Для досягнення поставленої мети програмою експериментальних досліджень передбачалось проведення:

- дослідження впливу виду, геометричних і технологічних характеристик рослинних решток та конструктивних параметрів сошника на ефективність процесу їх сходження з поверхні стеблевідводу;

- порівняльних польових досліджень ефективності функціонування експериментальної посівної секції та традиційних робочих органів аналогічного призначення;
- оцінки адекватності розробленої математичної моделі реальному процесу та співставлення результатів отриманих на основі теоретичних та експериментальних досліджень.

У відповідності до поставлених задач була розроблена програма лабораторно-польових досліджень, яка включала:

- визначення фізико-механічних властивостей ґрунту та рослинних решток;
- уточнення конструктивних параметрів стеблевідводу сошника для прямої сівби зернових культур визначених теоретичним шляхом;
- визначення впливу швидкості руху та глибини ходу сошника на його тяговий опір;
- визначення агротехнічних показників роботи посівної секції з сошником, який має гострий кут входження в ґрунт у виробничих умовах: глибину загортання насіння, нерівномірність загортання залежно від швидкості руху посівного агрегату.

Експериментальні дослідження проводилися в польових і лабораторних умовах з урахуванням обсягів, умов і особливостей їх виконання. При виконанні досліджень застосовувався стандартний метод планування експерименту [1, 67, 70], відомі методики отримання та обробки експериментальних даних з застосуванням пакетів прикладних програм статистичного аналізу StatSoft Statistica 6.0 на ПЕОМ [12], а також заново розроблені методики та технічне забезпечення. Для вирішення кожної з поставлених задач досліджень застосовувалася своя програма, методика і технічне забезпечення, інформація про зміст і особливості їх для кожного з проведених експериментів наведена в даному розділі нижче.

3.2. Методика визначення фізико-механічних властивостей грунту та рослинних решток

Визначення фізико-механічних властивостей ґрунту та рослинних решток виконували у відповідності до ГОСТ 31345-2007 та галузевих стандартів, які розроблені УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого СОУ 74.3-37.129: 2004 [11, 100]. Особливістю визначення фізико-механічних властивостей сільськогосподарських матеріалів є те, що практично всі величини носять випадковий характер [68, 69, 115], тому дослідження виконували в п'ятикратній повторюваності, а обробку отриманих експериментальних даних з використанням статистичних методів визначення даних характеристик [10, 24, 96]. Прилади і обладнання для отримання числових даних вибирались відповідно ДСТУ з урахуванням масовості проведення дослідів.

3.2.1. Визначення вологості ґрунту та рослинних решток

Визначення вологості здійснювали стандартним методом прямого висушування [101], який ґрунтується на висушуванні ґрунту до постійної маси в сушильній шафі. Зважування виконували з точністю до 0,01 г на електронних вагах ВЛК-500. Проби ґрунту відбирали в шарах 0-5 см, 5-10 см, 10-15 см ґрунтовим буром.

Для визначення вологості рослинних решток використовували портативний вимірювач вологості Wile 65 (FARMCOMP, Фінляндія), призначений для контролю вологості зерна, борошна й насіння сільськогосподарських культур (рис. 3.1). Для чого рослинні рештки попередньо подрібнювали. Вимірювач вологості Wile 65 представляє собою мікропроцесорний електронний прилад, в основі роботи якого використаний діелькометричний метод вимірювання вологості сипких матеріалів. Прилад працює з 16 культурами: пшениця, ячмінь, гречка, рапс, соняшник, кукурудза, боби, рис, овес, жито, сорго, горох, соєві боби, просо, насіння льону, гірчиця, борошно, висівки.

Технічна характеристика вимірювача вологості Wile 65

№ п/п	Найменування показників	Значення показників
1	Діапазон вимірювання вологості, %: – зернові – зернобобові – олійні	8...35 8...40 5...25
2	Похибка вимірювання вологості, %: – в діапазоні від 5 до 20% – в діапазоні від 20% до 35%	не більше 1,0 ±1,5
3	Об'єм вимірювальної камери, см ³	90

3.2.2. Визначення твердості ґрунту

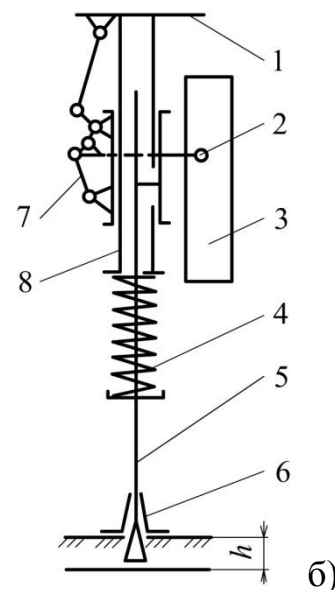
Твердість ґрунту – його здатність чинити опір проникненню іншого тіла. Для визначення твердості ґрунту в лабораторних умовах використовували твердомір Ю.Ю. Ревякіна (рис. 3.2). Твердість ґрунту визначали в місцях взяття проб для визначення вологості.



Рис. 3.1. Вимірювач вологості Wile 65



а)



б)

Рис. 3.2. Твердомір Ю.Ю. Ревякіна:

а) – загальний вигляд; б) - принципова схема

Прилад складається (рис. 3.2 б) із важеля 1, пружини 4, штока 5, наконечника 6, передаточного механізму 7 та рамки 8. Для запису діаграми зміни сил вдавлювання вимірювального наконечника в ґрунт до рамки

прикріплений міліметровий папір 3 і олівець 2. Заміри проводили в п'ятикратній повторюваності.

Для безпосереднього визначення твердості ґрунту в польових умовах використовували твердомір RECORD Industria Brasileira (рис. 3.3), за допомогою якого по діагоналі поля вимірювали твердість.

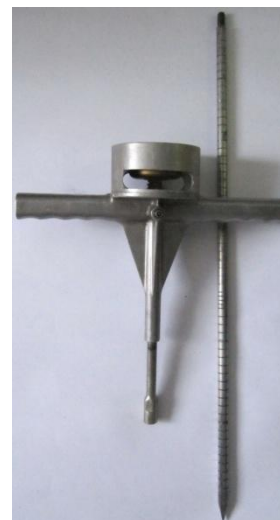


Рис. 3.3. Твердомір RECORD Industria Brasileira

Таблиця 3.2

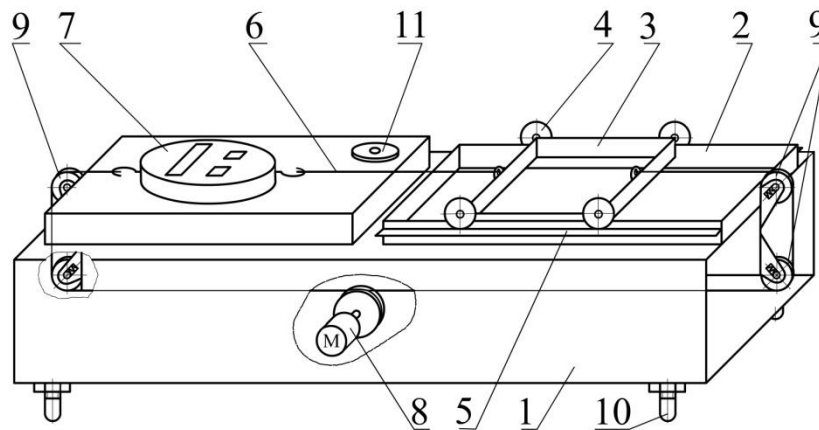
Технічна характеристика твердомір RECORD Industria Brasileira

№ п/п	Найменування показників	Значення показників
1	Діапазон вимірювання твердості, кГс/см^2	0...100
2	Клас точності	1,5
3	Глибина вимірювання, мм	0...500
4	Габаритні розміри, мм:	
	– висота	800
	– діаметр	150

3.2.3. Визначення фрикційних властивостей ґрунту та рослинних решток

Для визначення фрикційних властивостей ґрунту та рослинних решток був розроблений пристрій, для визначення коефіцієнтів тертя сільськогосподарських матеріалів (рис. 3.4).

Пристрій складається з рами 1 на якій розміщений жолоб 2 з кареткою 3. Остання виконана у вигляді візка з прикріпленими коліщатами 4, якими вона опирається на направляючі 5. Системою тросів 6 каретка 3 через електронний динамометр 7 приводиться в рух електродвигуном 8. Постійний натяг тросів забезпечують підпружинені ролики 9. Встановлення пристрою в горизонтальній площині здійснюється регульованими опорами 10 за допомогою нівеліра 11.



а)



б)

Рис. 3.4. Схема а) та загальний вигляд б) пристрою для визначення коефіцієнтів тертя сільськогосподарських матеріалів

Пристрій працює наступним чином. Для забезпечення точності вимірювань перед початком проведення досліджень пристрій за допомогою регульованих опор 10 по нівеліру 11 встановлюють в горизонтальній площині. Включають пристрій в роботу без

завантажування дослідного матеріалу. Для зниження похибки вимірювань від тертя механізмів і каретки в місцях їх контакту прилад тарують без завантаження. При цьому початкові значення електронного динамометра встановлюють в нульове положення. Після чого жолоб 2 та каретку 3 завантажують досліджуваним матеріалом і включають прилад в роботу. Динамометр 7 дозволяє фіксувати зусилля при переміщенні каретки з досліджуваним матеріалом. При необхідності каретку 3 довантажують вантажем з відомою масою.

Коефіцієнти тертя визначали за загальноприйнятою методикою, суть якої полягає у визначенні взаємозв'язку між дотичними і нормальними напруженнями в шарі досліджуваного матеріалу.

Коефіцієнт тертя визначали за формулою:

$$f_1 = \frac{P_1 - P_x}{G_m}. \quad (3.1)$$

де P_1 - показник динамометра при переміщенні каретки з наважкою матеріалу;

P_x - показник динамометра при таруванні, (при встановленні динамометра в нульове положення після тарування $P_x = 0$).

G_m - маса матеріалу в каретці 3.

3.3. Методика досліджень по визначенню та уточненню конструктивних параметрів стеблевідводу сошника

3.3.1. Технічне забезпечення експериментальних лабораторних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень визначення і уточнення конструктивних параметрів стеблевідводу сошника на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету в ґрунтовому каналі було

проведено дослідження з використанням розробленої посівної секції (рис. 3.5).

Посівна секція включала стояк 4 з долотом 1 і стеблевідводом 2, який за допомогою паралелограмної підвіски 3 кріпився через механізм 5 до візка з приводом. За допомогою механізму 5 регулювали кут входження сошника в ґрунт. Нахилом сектора 9 змінювали висоту котка 11, прикріпленого до повідка 10, чим регулювали глибину ходу сошника. Фіксували положення сектора 9 гвинтом 8. За допомогою гайки 12 змінювали як положення стеблевідводу, так і сам стеблевідвод з іншими геометричними параметрами. Досліджувану посівну секцію за допомогою навіски закріплювали до візка лабораторної установки. Необхідний тиск посівної секції на поверхню ґрунту забезпечується натискною штангою 6 з пружиною.

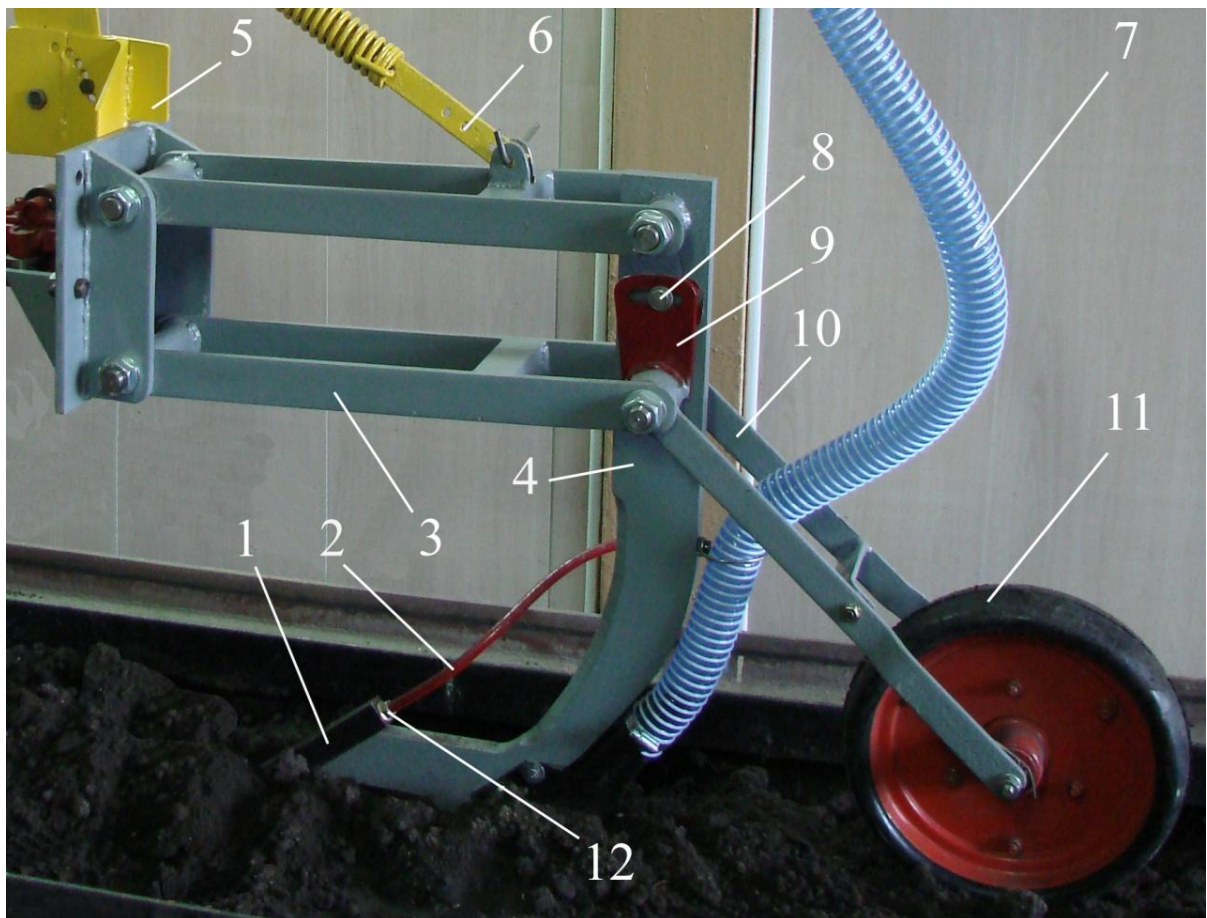


Рис. 3.5. Загальний вигляд посівної секції

Лабораторна установка з рухомим візком і електромеханічним приводом (рис. 3.6), який забезпечував швидкість руху візка 0,68-1,25-2,1-3,48 м/с, ($V_1 = 2,5$ км/год, $V_2 = 4,5$ км/год, $V_3 = 7,56$ км/год, $V_4 = 12,5$ км/год), була встановлена в ґрунтовому каналі кафедри довжиною 15 м. Необхідну твердість ґрунту забезпечували ущільнюючим котком 2. Проходження процесу та величину тягового зусилля фіксували за допомогою фотокамери 5 PowerShot A 2200.



Рис. 3.6. Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – рухомий візок з електромеханічним приводом; 2 – ущільнюючий коток; 3 – навіска візка з пристроєм для визначення тягового зусилля; 4 – досліджувана посівна секція; 5 – фотокамера PowerShot A 2200; 6 – ґрунтовий канал

3.3.2. Планування та зміст експериментальних досліджень

Максимальну ефективність процесу відведення рослинних решток від стояка сошника можна досягти при раціональних співвідношеннях конструктивних параметрів розробленої посівної секції між собою, чого

неможливо досягти при окремому вивченні їх впливу. Для цього застосували методику математичного планування на основі методів багатофакторних експериментів, задачею якої є одержання статистичної математичної моделі об'єкту досліджень у вигляді рівняння регресії.

Побудова і дослідження статистичної математичної моделі зводилась до наступного:

- попереднього дослідження об'єкту;
- вибору критерію оптимізації, впливових чинників і побудови моделі;
- оцінки адекватності і відтворюваності одержаної математичної моделі;
- використання моделі для оптимізації досліджуваного процесу.

Попередні пошукові експериментальні та теоретичні дослідження дали можливість визначити вплив окремих факторів та визначити їх рівні. Після проведеного теоретичного аналізу і вивчення об'єкту дослідження були виділені основні геометричні, технологічні та кінематичні параметри, визначені їх рівні і параметричні обмеження.

Впливовими факторами на процес відведення рослинних решток від стояка сошника були визначені наступні:

- геометричні параметри стеблевідводу: кут нахилу, (α , град.), висота над поверхнею ґрунту, ($H1$, м), радіус кривизни ($R1$, м);
- рослинних решток: довжина, (L_p , м), кут їх розташування по відношенню до напрямку руху сошника, (ψ , град.), розташування центра ваги рослинних реток (м) по відношенню до напрямку руху сошника;
- кінематичні: швидкість руху сошника, (V , км/год);
- технологічні: лінійна густина рослинних решток, (μ) та їх фізико-механічні властивості.

Геометричні параметри стеблевідводу та рівні їх варіювання приймали на основі теоретичного аналізу математичної моделі процесу

взаємодії рослинних решток різних геометричних та технологічних параметрів (характеристик та властивостей) з його поверхнею та попередніх пошукових експериментальних досліджень.

Швидкість руху та рівні її варіювання були вибрані з урахуванням агротехнічних вимог до сівби зернових культур та теоретичного і практичного аналізу роботи аналогічних посівних машин і можливостей лабораторної установки.

Особливий вплив на роботу посівної секції виявляють рослинні рештки, які в момент сівби знаходяться на поверхні поля в робочій зоні сошника. Для сошників з гострим кутом входження це є найбільш негативним явищем, яке погіршує якість сівби, а в деяких випадках і унеможлиблює її, що не дає змоги широко впровадити їх у виробництво. Випадковий збіг розташування рослинних решток на поверхні поля врахувати дуже важко. Тому для можливості математичного аналізу отриманої моделі процесу рослинні рештки досліджуваних культур розміщували в ґрунтовому каналі з наперед відомими фізико-механічними властивостями та значеннями їх параметрів. По відношенню до руху посівної секції рослинні рештки розміщували під кутами та змінювали розташування їх центра ваги (рис. 3.7).

Середню довжину рослинних решток, які можуть знаходитися на поверхні поля під час сівби після подрібнювача приймали за рекомендаціями УкрНДПІВТ ім. Л. Погорілого [74].

Для підготовки ґрунту в ґрунтовому каналі виконували його розпушування і ущільнення, після чого закріплювали в ґрунті стерню і поверх неї розкладавали рослинні рештки. Після чого виконували зволоження. Підготовлений такими чином ґрунт витримували декілька днів до набуття ним природного стану по вологості і густині.

Критерій оптимізації, що характеризує об'єкт досліджень повинен задовольняти наступні умови [67, 70]:

- описувати ефект процесу з позиції кінцевої мети;
- мати певну універсальність для групи подібних процесів;
- повинен бути сукупною і вичерпною характеристикою об'єкта досліджень;
- бути статично ефективним, тобто мати низьку чутливість до незначних коливань системи;
- повинен мати чіткий фізичний зміст.



а)



б)



в)

Рис. 3.7. Розташування рослинних решток на поверхні ґрунтового каналу:

а) – соняшнику, б) – кукурудзи, в) – пшениці

Критерієм оптимізації роботи посівної секції було вибрано ефективність відведення рослинних решток стеблевідводом сошника, ε , %, ($Y = \varepsilon$) від стояка. Для дослідження впливу факторів на критерії оптимізації шляхом експериментальних досліджень встановлювали залежність між ними.

Одним зі способів вирішення протиріччя між кількістю дослідів і точністю моделі є центральне композиційне планування, яке передбачає проведення дослідів за повним факторним експериментом, додаткову

кількість дослідів в центрі факторного простору і деякою кількістю дослідів в “зіркових” точках.

За повним факторним експериментом проводиться $N = 2^n$ дослідів, за центральним композиційним планом $N = 2^n + n_0 + 2n$. Для виконання поставленої задачі використовувався метод планування факторних експериментів для п'яти факторів (табл. 3.3). В усіх точках плану проведено по 3 паралельних досліди. Перед початком експерименту фактори кодуються.

Таблиця 3.3.

Матриця центрального композиційного планування експерименту

$N = 2^n + n_0 + 2n$ для п'яти факторів

№ дослідів	Кодоване значення факторів				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	2	3	4	5	6
1	–	–	–	–	+
2	–	–	–	+	–
3	–	–	–	–	–
4	–	–	+	+	+
5	–	+	–	–	–
6		+	–	+	+
7	–	+	+	–	+
8	–	+	+	+	–
9	+	–	–	–	–
10	+	–	–	+	+
11	+	–	+	–	+
12	+	–	+	+	–
13	+	+	–	–	+
14	+	+	–	+	–
15	+	+	+	–	–
16	+	+	+	+	+

Продовження таблиці 3.3.

1	2	3	4	5	6
17 (C)	0	0	0	0	0
18	$-\alpha$	0	0	0	0
19	α	0	0	0	0
20	0	$-\alpha$	0	0	0
21	0	α	0	0	0
22	0	0	$-\alpha$	0	0
23	0	0	α	0	0
24	0	0	0	$-\alpha$	0
25	0	0	0	α	0
26	0	0	0	0	$-\alpha$
27	0	0	0	0	α
28 (C)	0	0	0	0	0

При кодуванні факторів здійснюється лінійне перетворення факторного простору з перенесенням початку координат в центр експерименту і вибір масштабу по осях в одиницях вимірювання факторів. Кодування факторів виконували за формулою:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{v}, \quad (3.2)$$

де x_i – кодоване значення фактора, верхній рівень (+1), а нижній (-1),
в центрі експерименту нульовий рівень;

X_i – натуральне значення фактора в його розмірності;

X_{0i} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

v – натуральне значення інтервалу варіювання фактора:

$$v = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}, \quad (3.3)$$

де X_i^B – значення фактора на верхньому рівні;

X_i^H – значення фактора на нижньому рівні.

Найбільш точним методом апроксимації експериментальних досліджень є метод поліноміального описання процесу за допомогою рівняння регресії, яке в загальному випадку має такий вигляд:

$$Y = b_0 + \sum_{i < j}^n b_i X_i + \sum_{i > 1}^n b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2, \quad (3.4)$$

де b_i – коефіцієнт регресії i -го фактора; k – кількість факторів.

Значимість коефіцієнтів регресії перевірялась за допомогою рівності нулю коефіцієнтів при квадратичних членах регресії (нуль-гіпотеза). Для цього були проведені додаткові досліді в центрі експерименту, визначено середнє значення \bar{Y}_0 критерію оптимізації в центрі експерименту і розрахована різниця $b_0 - \bar{Y}_0$, яка є характеристикою кривизни поверхні відгуку. Нуль гіпотеза приймається, якщо різниця $b_0 - \bar{Y}_0$ не перевищує похибки досліді. Значимість цієї різниці перевіряли за критерієм Стюдента (t - критерієм).

$$t_{розр} = \frac{(b_0 - \bar{Y}_0) \sqrt{N}}{\sqrt{S_y^2}}. \quad (3.5)$$

Потім розрахункове значення $t_{розр}$ порівнювали з табличним значенням в залежності від рівня значимості $\alpha = 0,05$, та ступеня вільності $f_t = N$. Якщо виконувалась нерівність $|b_i| < |\Delta b_i|$, відповідний фактор аналізували щодо вибору іншого інтервалу варіювання, якщо це можливо. При цьому всі необхідні досліді повторювали і, якщо після аналізу відповідний коефіцієнт знову відповідав попередній умові, тоді робили висновок про те, що вплив фактора x_i на параметр оптимізації Y_i є не значимим.

Відтворюваність експериментів визначали за допомогою критерію Кохрена (G – критерію), при цьому необхідною умовою є $G_{розр.} < G_{табл.}$. У випадку $G_{розр.} > G_{табл.}$ робиться висновок про невідтворюваність дослідів,

а отже виникає необхідність перевірити ефективність регулювань досліджуваного об'єкту, та засоби вимірювань.

Розрахункове значення критерію визначали за формулою:

$$G_{розр.} = \frac{S_{y\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_{yi}^2}, \quad (3.6)$$

де $S_{y\max}^2$ – максимальна із розрахованих по строкових дисперсій відтворюваності;

$\sum_{i=1}^N S_{yi}^2$ – сума дисперсій відтворюваності для строчок матриці

планування.

Дисперсію відтворюваності розраховували за формулою:

$$S_{yi}^2 = \frac{1}{(k-1)} \sum_{t=1}^k (Y_{it} - \bar{Y}_i)^2, \quad (3.7)$$

де k – число паралельних дослідів в кожній точці плану;

\bar{Y}_i – середнє значення досліджуваного параметра;

Y_{it} – значення досліджуваного параметра в паралельних дослідах;

i – номер дослідів.

Адекватність статистичної математичної моделі перевіряли за допомогою критерію Фішера (F - критерію):

$$F_{розр.} = \frac{S_{ад.}^2}{S_0^2} \leq F_{табл(0,05;f_{ад.},f_y)}, \quad (3.8)$$

де $F_{розр.}$ – розрахункове значення критерію Фішера;

$S_{ад.}^2$ – дисперсія адекватності;

$F_{табл(0,05;f_{ад.},f_y)}$ – табличне значення критерію Фішера при 5% рівні

значущості;

f_{ad} – число ступенів вільності дисперсії адекватності;

f_y – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

Дисперсію адекватності S_{ad}^2 визначали за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{N - (k + 1)} \sum_{u=1}^N (\bar{Y}_u - Y_p)^2, \quad (3.9)$$

де N – число строчок в матриці планування;

k – кількість факторів;

\bar{Y}_u – середньоарифметичне значення функції відгуку в паралельних дослідах;

Y_p – розрахункове значення функції відгуку.

Похибку досліду S_0^2 визначали за формулою:

$$S_0^2 = \frac{1}{N} \sum S_u^2, \quad (3.10)$$

де N – кількість дослідів.

Отримані статистичні дані обробляли за допомогою пакету прикладних програм StatSoft Statistica 6.0.

3.4. Методика лабораторних досліджень визначення тягового опору сошників

Енергетичні показники роботи сошників сівалок для прямої сівби сільськогосподарських культур є основними при вирішенні задач підвищення якості виконання технологічного процесу, зменшення металоємності сівалок та їх енергетичних витрат.

Для визначення питомого тягового опору та порівняльної енергетичної оцінки експериментального сошника з найбільш поширеними був використаний пристрій реєстрації тягового зусилля розроблений на

кафедрі КНТУ (рис. 3.8), який під час проведення досліджень в ґрунтовому каналі прикріплювався до навіски візка (рис. 3.6).

Пристрій складається із корпусу-напрячника 1 через який, спираючись на підшипникові вузли 2, проходить гряділь 3, до якого прикріплюється посівна секція 4. Переміщення гряділя в корпусі обмежується пружиною 5 і упором 6. Для візуального спостереження за переміщенням гряділя в горизонтальній площині встановлена стрілка 7, а до корпусу-напрячника прикріплена проградуйована у відповідність з жорсткістю пружини планка із шкалою 8. Для кріплення камери фотофіксації встановлена регульована штанга 9.

З метою об'єктивного визначення тягових характеристик досліджуваного робочого органу було проведено тарування силової пружини 5 (рис. 3.8) пристрою для реєстрації тягового зусилля посівної секції. Для чого пружина поступово навантажувалася вантажами з відомою масою і відповідно визначалася зміна її довжини, а також фіксувався зворотний процес при розвантаженні (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Числові значення результатів тарування пружини пристрою

Навантаження $P_{cp.}$, кг	Переміщення пружини, мм						Середнє значення $h_{cp.}$
	Навантаження, h_1			Розвантаження, h_2			
20	9,2	9,8	9,6	9,9	10,0	9,8	9,9
35	31,1	31,3	31,2	31,6	31,8	34,4	31,6
70	40,6	40,2	40,3	40,8	40,9	40,6	40,7
105	64,4	64,6	64,5	64,0	64,2	63,8	64,0

Масштабний коефіцієнт для кожного з п'яти ступенів навантаження:

$$k_{cm} = \frac{P_{cp.}}{h_{cp.}} = tg\alpha_n. \quad (3.11)$$

Середній масштаб:

$$k_{cp.} = \frac{\sum k_{cp.}}{n}, \quad (3.12)$$

де n – кількість ступенів.

Визначений середній масштабний коефіцієнт для вказаної пружини становить $k_{cp}=1,56$.

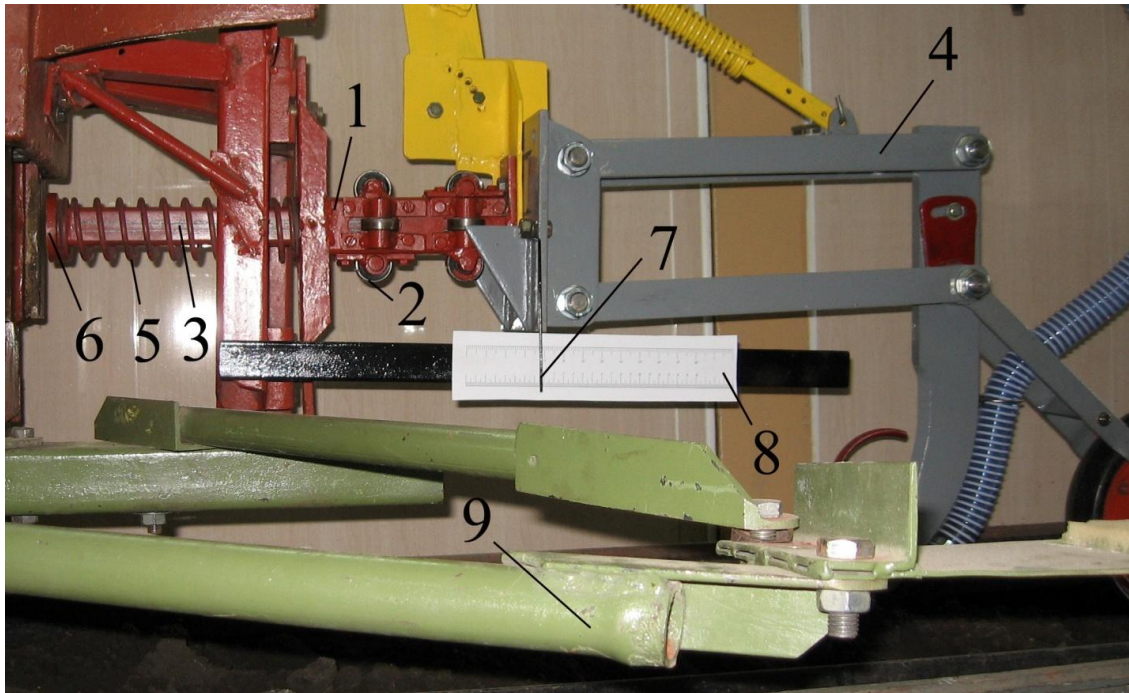


Рис. 3.8. Пристрій для реєстрації тягового зусилля посівної секції

3.5. Методика визначення агротехнічних показників роботи експериментальних сошників у виробничих умовах

Проведення теоретичних та лабораторних досліджень не дозволяє повністю вивчити процес роботи сошника з урахуванням усіх факторів. Тому, для встановлення правдивості і адекватності процесу, стосовно прийнятих допущень необхідна їх перевірка в реальних умовах, для чого були проведені польові випробовування.

Метою польових випробовувань було встановлення можливості застосування сошника з гострим кутом входження в ґрунт для сівби

зернових культур, уточнення конструктивних параметрів і оптимальних режимів роботи в реальних польових умовах.

Лабораторно-польові випробовування проводилися згідно [24] на дослідних полях Кіровоградської дослідної станції Кіровоградського району Кіровоградської області восени 2012 року.

3.5.1. Особливості конструкції і роботи експериментальної сівалки

Для перевірки працездатності експериментальних сошників з гострим кутом входження в ґрунт у реальних умовах було розроблено експериментальний зразок сівалки СПП-1,5 (рис. 3.9), технічна характеристика (табл. 3.4).



Рис. 3.9. Загальний вигляд експериментальної сівалки
для прямої сівби СПП-1,5

Сівалка складається з рами 1, націпного пристрою 2, бункера для насіння і добрив 3, з катушковими висівними апаратами 4, до рами сівалки за допомогою паралелограмної підвіски кріпилися в два ряди дев'ять посівних секцій з експериментальними сошниками. Відстань між сошниками одного ряду складала - 300 мм, а між сошниками по ширині захвату сівалки – 150 мм. Для завантаження сівалки посівним матеріалом і добривами встановлена підніжна дошка 6. Привод висівних апаратів

здійснюється від опорно-приводних коліс 7, через редуктор 8. Глибина сівби регулюється індивідуально кожного сошника за допомогою опорних котків. Для встановлення на зберігання передбачено опорні стояки 9.

Таблиця 3.4

Технічна характеристика сівалки для прямої сівби СПП-1,5

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Значення показника
1	2	3	4
1	Тип машини		начіпна
2	Агрегатування	кл. трактора	1,4-2,0
3	Спосіб сівби		рядковий
4	Ширина захвату	м	1,5
5	Норма висіву: – насіння – добрив	кг/га кг/га	50-250 50-200
6	Об'єм бункера: – для насіння – для добрив	дм ³	247 148
7	Кількість обслуговуючого персоналу	чол.	1
8	Габаритні розміри: – довжина – ширина – висота	мм мм мм	1970 2000 1780
9	Дорожній просвіт	мм	350
10	Маса сівалки: – суха конструкційна – експлуатаційна	кг кг	730 1125

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
11	Кількість сошників	шт.	9
12	Глибина ходу сошника	мм	0...100
13	Відстань між сошниками	мм	150
14	Необхідна мінімальна ширина поворотної смуги	м	6

Полеві випробовування проводили за стандартною методикою [100, 101]. В якості посівного матеріалу використовували насіння озимої пшениці.

В процесі досліджень всі конструктивні параметри і режими роботи сошників залишалися незмінними, за виключенням тих, які досліджувалися. Досліджувані параметри задавалися такими, щоб можна було встановити їх вплив на показники роботи експериментальної сівалки та визначити їх оптимальні значення.

3.5.2. Встановлення впливу швидкості руху посівного агрегату на якісні показники сівби експериментальними сошниками

При вивченні впливу швидкості на якісні показники роботи сівалки у відповідності з агротехнічними вимогами швидкість експериментального посівного агрегату змінювали в межах 5...15 км/год. Для чого у відповідності з прийнятою методикою [24] була підготовлена ділянка поля довжиною 125 м (рис. 3.10), на якій з різною швидкістю та на різну глибину виконували сівбу експериментальною сівалкою. Загінка складалася із п'яти залікових ділянок довжиною 25 м, призначених для запису досліджуваних параметрів при п'яти різних швидкостях V_1, \dots, V_5 , а також п'яти п'ятиметрових ділянок R_1, \dots, R_5 , необхідних для розгону

посівного агрегату і виведення його в заданий режим роботи, та п'ятиметрової захисної смуги навколо дослідної ділянки. Для визначення шляху і часу його проходження на ділянках відмічали залікові проходи довжиною 25 м. Час проходження фіксували секундоміром в трикратній повторюваності.

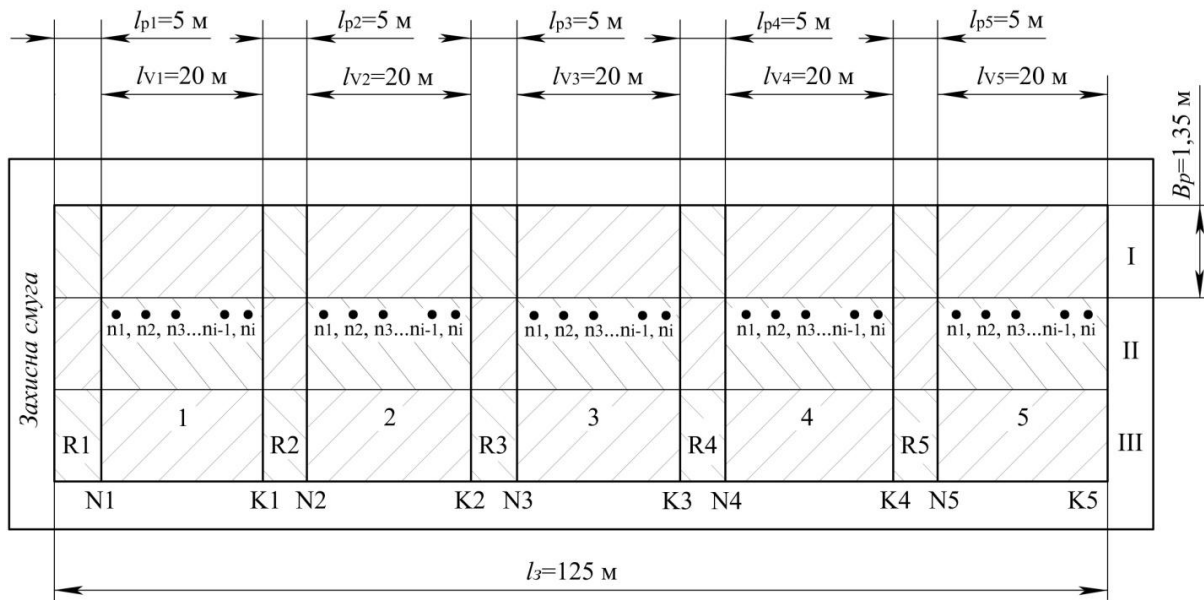


Рис. 3.10. Схема ділянки для проведення дослідів: N_1, \dots, N_5 – лінії початку запису параметрів, що реєструвалися; K_1, \dots, K_5 – лінії закінчення запису параметрів що реєструвалися; R_1, \dots, R_5 – ділянки, відведені для розгону експериментального посівного агрегату та виходу його з залікової ділянки; n_1, n_2, \dots, n_i – місця взяття проб ґрунту та рослинних решток

Швидкість руху агрегату визначали за формулою:

$$V = 3,6 \cdot \frac{S}{t}, \quad (3.13)$$

де S - шлях пройдений сівалкою, м;

t - час, за який агрегат проходить цей шлях, с.

Засміченість ґрунту рослинними рештками (стернею, стеблами, коренями рослин, бур'янами) визначали кількісним і ваговим методами на залікових ділянках в місцях взяття проб (рис. 3.10). Викопані та зібрані

рослинні рештки розділяли на дві групи: довжиною більше і менше 10 см. Кожну групу рослинних решток зважували окремо. Потім визначали їх загальну масу на 1 м^2 , та окремо крупних і дрібних рослинних решток. Також визначали густину і висоту стерні.

Тип ґрунту, рельєф, вологість і твердість визначали за стандартною методикою [101]. В дні проведення дослідних посівів визначали вологість і твердість ґрунту на глибині 0...5 см, 5-10 см, 10...15 см в п'ятикратній повторюваності.

3.5.3 Визначення коефіцієнта лінійної густини рослинних решток

Лінійна густина рослинних решток – кількість рослинних решток на одиниці довжини поля, які перетинаються з лінією руху сошника.

Коефіцієнт лінійної густини рослинних решток – це відношення довжини стеблевідводу до шляху, який пройде сошник з моменту попадання рослинних решток на стеблевідвід до сходження з нього.

Для визначення кількості рослинних решток n , які попадуть на стеблевідвід, розтягували на полі шнур з відомою довжиною S і збирали всі рослинні рештки, які з ним перетиналися. При цьому враховували те, що частина рослинних решток, які знаходяться на лінії руху сошника, не попадуть на стеблевідвід за формулою:

$$k = k_1 \cdot k_2, \quad (3.14)$$

де k_1 - коефіцієнт, який враховує зміщення центра ваги рослинних решток відносно лінії руху сошника;

k_2 – коефіцієнт, який враховує кут розташування рослинних решток відносно лінії руху сошника.

Коефіцієнт k_1 , який враховує зміщення центра ваги рослинних решток відносно лінії руху сошника, визначали за формулою:

$$k_1 = \frac{2 \cdot l}{L} \quad (3.15)$$

де l – критичне значення величини зміщення центра ваги рослинних решток відносно лінії руху сошника, при якому вони попадають на стеблевідвід, м;

L – максимальна довжина рослинних решток, м.

Коефіцієнт k_2 , який враховує кут розташування рослинних решток відносно вісі руху сошника, визначали за формулою:

$$k_2 = \frac{2 \cdot \psi}{360}, \quad (3.16)$$

де ψ – критичний кут розташування рослинних решток відносно лінії руху сошника, при якому вони попадають на стеблевідвід, град.

Кількість рослинних решток, які попадуть на стеблевідвід:

$$n = k \cdot N \quad (3.17)$$

де N – кількість рослинних решток на лінії руху сошника, зібраних на дослідній довжині, шт.

Коефіцієнт лінійної густини рослинних решток визначали за формулою:

$$\mu = \frac{n \cdot d_{\text{сер.}}}{S}, \quad (3.18)$$

де n – кількість рослинних решток, які попадуть на стеблевідвід, шт;

$d_{\text{сер.}}$ – усереднений діаметр зібраних рослинних решток, м;

S – довжина дослідної ділянки, на якій збирали рослинні рештки, м.

При проведенні досліджень на поверхні ґрунтового каналу розміщували тільки ті рослинні рештки, які повинні попасти на стеблевідвід.

3.5.4. Порівняльні дослідження експериментальних та серійних сошників

Для порівняльної оцінки роботи експериментальних сошників з іншими найбільш поширеними конструкціями на сівалку були встановлені

крайні сошники: дводисковий сівалки СРН-2000 фірми Great Plains і анкерний стерньової сівалки СТС-2,1, ПАТ "Червона зірка" за схемою (рис. 3.11). Перед початком експерименту експериментальні сошники встановлювали на різну глибину, вмикалася передача трактора, яка відповідала необхідній мінімальній швидкості V_1 . На ділянці R_1 (рис. 3.10) робочі органи заглиблювалися на задану глибину обробітку і агрегат виводився на заданий режим роботи. При перетині лінії N_1 залікової ділянки включали секундомір, а при перетині лінії K_1 виключали і агрегат зупинявся. Після цього змінювалася передача трактора, щоб вона відповідала другій заданій швидкості V_2 і експеримент повторювався на другій заліковій ділянці. Аналогічно виконували дослідження на інших ділянках.

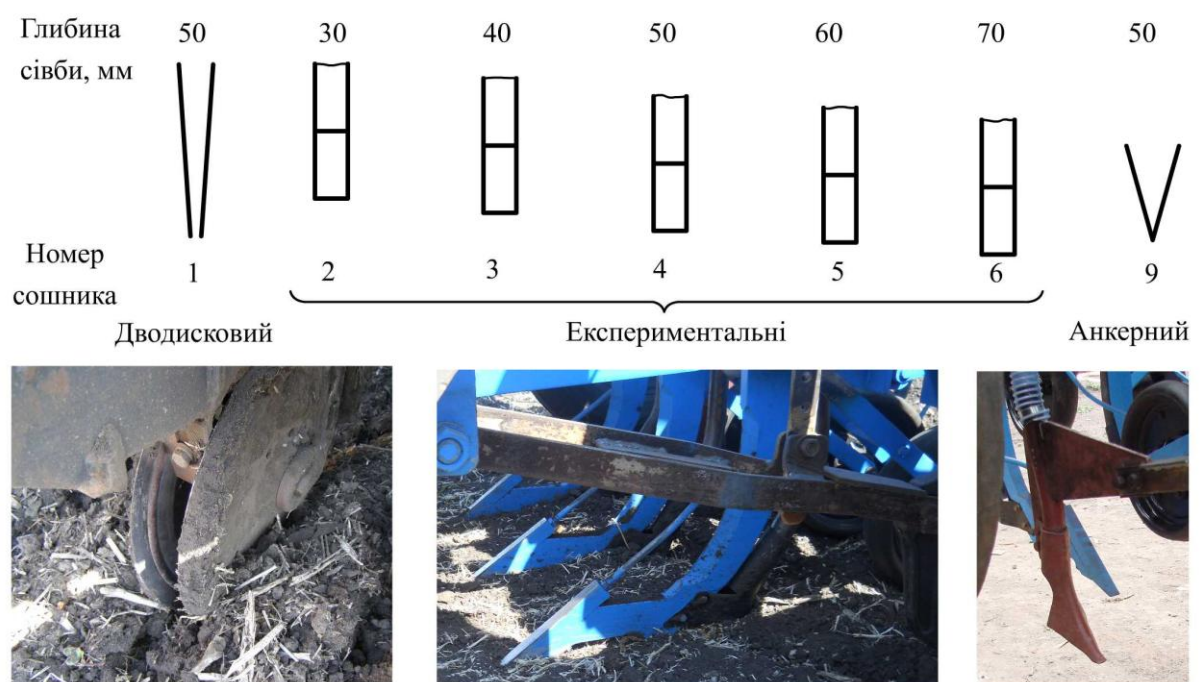


Рис. 3.11. Загальний вигляд та схема встановлення
сошників на глибину сівби

Дослідження проводили на полях № 2 та 4 зернопаропросапної та зернопросапної науково-дослідних сівозмін Кіровоградської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства

степової зони Національної академії аграрних наук України в установлені для Кіровоградської області агротехнічні строки сівби зернових культур.

Визначення характеристики рослинних решток виконували за методикою п. 3.5.3 та з допомогою квадратної рамки 1х1 м (рис. 3.12), яку клали на поверхню поля і збирали всі рослинні рештки в поліетиленові мішки для подальшого аналізу.



а)



б)

Рис. 3.12. Визначення характеристики рослинних решток



1



2



3



4



5



6

Рис. 3.13. Загальний вигляд рослинних решток: 1 – до 10 см; 2 – від 10 до 20 см; 3 – від 20 до 30 см; 4 – дрібні рослинні рештки і листя; 5 – рослинні рештки бур'янів; 6 – рослинні рештки кукурудзи

Для проведення досліджень була вибрана рівна ділянка поля без обробітку, яка мала наступну характеристику:

- попередник – соя;
- кількість стоячих рослинних решток, шт/м² – 43-68;
- середній діаметр рослинних решток, мм – 5,4;
- середня довжина стоячих рослинних решток, м – 0,15–0,18;
- маса рослинних решток, г/м² – 496;
- коефіцієнт лінійної густини рослинних решток, μ – 0,05;
- рельєф поверхні поля – плато вирівняне, схил до 3%.

Таблиця 3.5

Характеристика рослинних решток

№ п/п	Найменування рослинних решток	Вага, г	Відносний вміст, %
1	сої до 10 см	52	10,5
2	від 10 до 20 см	104	21,0
3	від 20 до 30 см	36	7,3
4	дрібні рослинні рештки і листя сої	192	38,7
5	бур'янів	58	11,6
6	кукурудзи врожаю 2011 року	54	10,9
	Загальна вага	496	

В дні проведення дослідних посівів вологість і твердість ґрунту визначали на глибині 0...15 см по діагоналі ділянки в п'ятикратній повторюваності за методикою п. 3.2.3.

Таблиця 3.6

Твердість та вологість ґрунту по горизонтах

№ досліджу	Горизонти ґрунту, см					
	Твердість, МПа			Вологість, %		
	0...5	5...10	10...15	0...5	5...10	10...15
1	0,06	0,17	0,20	7,6	10,3	15,2
2	0,10	0,15	0,23	8,7	10,6	15,0
3	0,08	0,18	0,22	8,2	10,1	14,6
4	0,07	0,16	0,21	8,6	10,8	14,9
5	0,09	0,14	0,24	8,4	10,2	14,3
Середнє	0,08	0,16	0,22	8,3	10,4	14,8

Сівбу здійснювали за методикою п. 3.5.2. Задана норма висіву насіння становила 200 кг/га, добрива не застосовувалися.

3.5.5. Визначення реальної глибини загортання насіння сошниками

Визначення глибини загортання насіння в ґрунт по етиельованій частині рослини здійснювали після появи сходів (2-3 листочки) на відмічених залікових ділянках (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Дослідна ділянка після появи сходів пшениці

Рослини витягували з ґрунту (при необхідності підкопували) і вимірювали довжину етиельованої частини з похибкою ± 1 мм. Заміри по довжині рядків виконували з інтервалом 10 см.

4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УМОВ ТА ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СОШНИКА ЗІ СТЕБЛЕВІДВОДОМ

4.1. Показники фізико-механічних властивостей рослинних решток та ґрунту

4.1.1. Коефіцієнти тертя рослинних решток

Значення коефіцієнтів тертя спокою та тертя ковзання рослинних решток отримані для різних робочих поверхонь (табл.4.1) і використані при математичному моделюванні процесів взаємодії рослинних решток зі стеблевідводом.

Таблиця 4.1

Коефіцієнти тертя післяжнивних рослинних решток

Післяжнивні рослинні рештки	Поверхня тертя	Вологість, %	Значення коефіцієнта тертя							
			спокою (статичний)				ковзання (динамічний)			
			1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.
пшениці	сталь	17,0	0,51	0,50	0,55	0,52	0,39	0,38	0,34	0,37
	дерево		0,63	0,57	0,60	0,60	0,33	0,32	0,21	0,32
	стерня		0,86	0,94	0,96	0,92	0,80	0,79	0,81	0,80
кукурудзи	сталь	13,0	0,58	0,63	0,59	0,60	0,57	0,56	0,58	0,57
	дерево		0,52	0,52	0,52	0,52	0,49	0,46	0,49	0,48
	стерня		0,86	0,80	0,80	0,83	1,01	1,04	1,07	1,04
соняшнику	сталь	14,0	0,75	0,78	0,72	0,75	0,62	0,61	0,63	0,62
	дерево		0,54	0,56	0,52	0,54	0,45	0,44	0,46	0,45
	стерня		0,98	0,99	0,97	0,98	0,92	0,90	0,94	0,92

Визначення динамічного коефіцієнта тертя рослинних матеріалів проводили при різних значеннях швидкості їх руху по поверхні ковзання. Аналіз отриманих даних показує, що зміна швидкості ковзання рослинних

матеріалів по неперфорованій поверхні в досліджуваному діапазоні суттєво не впливає на величину коефіцієнта тертя ковзання.

4.1.2. Вологість та твердість ґрунту

Вологість та твердість ґрунту в лабораторних умовах визначали за методикою п. 3.2.1 та п. 3.2.3 на глибині ходу сошника до 10 см, (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Твердість та вологість ґрунту по горизонтах

№ досліджу	Горизонти ґрунту, см			
	Твердість, МПа		Вологість, %	
	0...5	5...10	0...5	5...10
1	0,06	0,17	17,2	23,2
2	0,10	0,15	17,5	21,4
3	0,08	0,18	18,3	22,1
4	0,07	0,16	16,8	20,8
5	0,09	0,14	17,2	23,0
Середнє	0,08	0,16	17,4	22,4

4.1.3. Характеристика рослинних решток

Характеристику рослинних решток визначали за методикою п. 3.5.3. (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Характеристика рослинних решток

Найменування культури	Вологість, %	Середня густина рослинних решток, шт./м	Середня кількість рослинних решток, які попадають на стеблевідвід, шт	Усереднений діаметр рослинних решток, мм	Коефіцієнт лінійної густини
1	2	3	4	5	6
Пшениця	17,0	570-760	48-63	3,2-3,9	0,17-0,24
Кукурудза	13,0	62-70	5-6	16,8-35,2	0,08-0,2
Соняшник	14,0	45-95	4-8	17,9-28,4	0,06-0,14
Соя	12,5	43-68	4-6	5,4-6,2	0,05-0,10

4.2. Вплив фізико-механічних властивостей ґрунтово-рослинного середовища та геометричних параметрів стеблевідводу на ефективність відведення рослинних решток

Під час проектування експериментальної установки (рис. 3.5) її конструкція була виконана з можливістю регулювання параметрів, які мають вплив на ефективність відведення рослинних решток від стояка і попередньо розглянутих у теоретичній частині.

На першому етапі було проаналізовано роботу запропонованої конструкції сошника та визначено вплив на його роботу найбільш впливових факторів. Такими факторами були прийняті:

- швидкість руху, V , км/год;
- розташування рослинних решток по відношенню до напрямку руху сошника, ψ , град;
- розташування центра ваги рослинних решток по відношенню до вісі сошника в напрямку його руху, м;
- кут нахилу стеблевідводу сошника до поверхні поля, α , град;
- висота стеблевідводу над поверхнею ґрунту, H_1 , м;
- довжина рослинних решток, L , м;
- лінійна густина рослинних решток, μ .
- радіуси кривизни стеблевідводу R_1 та R_2 , м.

В результаті проведених попередніх дослідів були відсіяні мало значимі фактори, які не виявляють суттєвого впливу на процес відведення рослинних решток від стояка сошника. Орієнтація рослинних решток по відношенню до напрямку руху сошника найбільший вплив створює при їх розташуванні під кутом 90^0 до напрямку руху сошника, так само і розташування центра ваги рослинних решток по відношенню до вісі сошника в напрямку його руху створює найбільший негативний вплив коли вони співпадають, тому подальші досліді проводилися при їх максимальних значеннях. Радіус кривизни третьої ділянки стеблевідводу

R_2 не виявляє суттєвого впливу на відведення рослинних решток, а сприяє кращому їх скиданню із стеблевідводу за межами стояка. Довжина рослинних решток суттєво впливає на геометричні параметри стеблевідводу, однак з урахуванням агротехнічних вимог до подрібнення рослинних решток [74], їх максимальні розміри приймали рівними $L=0,2$ м.

Параметром оптимізації у відповідності з поставленою задачею було прийнято ефективність відведення рослинних решток від стояка сошника, ε , %. Зміст даного показника – відсоток кількості рослинних решток, які відведено стеблевідводом в процесі роботи від стояка, відносно загальної кількості рослинних решток, які знаходилися в зоні його дії.

В результаті реалізації матриці центрального композиційного плану 2^5 +зіркові точки встановлено вплив чинників (V , R_1 , α , H_1 , μ), (табл. 4.3) та отримані раціональні параметри стеблевідводу для забезпечення максимальної ефективності відведення рослинних решток.

Таблица 4.3

Фактори, які впливають на ефективність роботи стеблевідводу
сошника та рівні їх варіювання

№ п/п	Найменування факторів	Кодоване позначення	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
			верхній (+)	нижній (-)	нульовий	
1	Швидкість руху сошника, V , км/год	x_1	12,5	4,5	8,5	4,0
2	Радіус кривизни стеблевідводу, R_1 , м	x_2	0,30	0,15	0,225	0,075
3	Кут нахилу стеблевідводу, α , град.	x_3	30	20	25	5
4	Висота стеблевідводу, H_1 , м	x_4	0,1	0,05	0,075	0,025
5	Коефіцієнт лінійної густини рослинних решток, μ	x_5	0,25	0,05	0,15	0,1

В усіх точках плану проведено по 3 паралельних досліди. Значення величини Y ефективності відведення рослинних решток від стояка отримані згідно алгоритму розрахунку факторних експериментів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Матриця планування і результати експериментів

№ дослід	Найменування факторів					Значення функції відгуку, Y				S_{yi}^2	Y_p	$(Y-Y_p)^2$
	V	$R1$	α	$H1$	μ	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4,5	0,15	20	0,05	0,25	14	18	13	15	7,0	14,2	0,64
2	4,5	0,15	20	0,10	0,05	25	27	23	25	4,0	24,8	0,04
3	4,5	0,15	30	0,05	0,05	37	42	38	39	7,0	39,2	0,04
4	4,5	0,15	30	0,10	0,25	7	13	10	10	9,0	10,1	0,01
5	4,5	0,30	20	0,05	0,05	39	43	38	40	7,0	40,2	0,04
6	4,5	0,30	20	0,10	0,25	37	37	34	35	4,5	34,5	0,25
7	4,5	0,30	30	0,05	0,25	43	39	38	40	7,0	39,8	0,04
8	4,5	0,30	30	0,10	0,05	37	39	44	40	13	40,1	0,01
9	12,5	0,15	20	0,05	0,05	69	75	72	72	5,0	72,3	0,09
10	12,5	0,15	20	0,10	0,25	60	63	57	60	9,0	59,7	0,09
11	12,5	0,15	30	0,05	0,25	20	17	23	20	9,0	20,4	0,16
12	12,5	0,15	30	0,10	0,05	53	55	57	55	4,0	55,1	0,01
13	12,5	0,30	20	0,05	0,25	72	70	68	70	4,0	70,2	0,04
14	12,5	0,30	20	0,10	0,05	88	92	87	89	7,0	89,1	0,01
15	12,5	0,30	30	0,05	0,05	78	77	82	79	7,0	79,3	0,09
16	12,5	0,30	30	0,10	0,25	60	58	62	60	4,0	60,4	0,16
17	8,5	0,23	25	0,08	0,15	88	92	93	91	7,0	91,1	0,01
18	0,6	0,23	25	0,08	0,15	19	18	20	19	1,0	19,1	0,01
19	17,6	0,23	25	0,08	0,15	99	98	100	99	1,0	99,2	0,04
20	8,5	0,05	25	0,08	0,15	30	28	35	31	13	31,4	0,16
21	8,5	0,40	25	0,08	0,15	79	83	81	81	4,0	80,1	0,01
22	8,5	0,23	13,62	0,08	0,15	72	69	69	70	3,0	70,4	0,16
23	8,5	0,23	36,38	0,08	0,15	39	41	43	41	4,0	41,2	0,04
24	8,5	0,23	25	0,02	0,15	4	5	3	4	1,0	4,2	0,04
25	8,5	0,23	25	0,13	0,15	15	14	16	15	1,0	15,3	0,09
26	8,5	0,23	25	0,08	0,38	96	93	96	95	3,0	96	1,0
27	8,5	0,23	25	0,08	0,08	28	30	32	30	4,0	30,5	0,25
28	8,5	0,23	25	0,08	0,15	86	92	89	89	9,0	89,2	0,04

Для обробки експериментальних даних застосовували пакет прикладних програм StatSoft Statistica 6.0 [15, 31], в результаті чого проведено побудову статистичної математичної моделі для ефективності очищення стояка сошника від рослинних решток пшениці ε_{II} (Y_{II}) при натуральних значеннях факторів:

$$Y_{II} = 89,1 + 18,9x_1 + 10,3x_2 + 4,9x_3 + 0,9x_4 - 10,5x_5 - 7,3x_1^2 - 6,6x_2^2 - 6,7x_3^2 - 15,6x_4^2 - 5,3x_5^2 + 1,6x_1x_2 - 5,7x_1x_3 + 2,9x_1x_4 - 2,6x_1x_5 + 2,1x_2x_3 - 0,6x_2x_4 + (4.1)$$

Статистична оцінка отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки, що досліді рівноточні, оскільки розрахункове значення критерію Кохрена для параметру оптимізації Y_{II} становить $G_{розр.} = 0,588$ і є меншим за табличне $G_{табл.(0,05;28;2)} = 0,707$. Розрахункове значення критерію Фішера $F_{розр.(0,05;5;22)} = 0,75$, $F_{табл.(0,05;5;22)} = 2,65$. Тут $F_{розр.} < F_{табл.}$, тому отримане рівняння адекватно описує ефективність процесу для прийнятого інтервалу варіювання факторів.

Аналогічно в пакеті прикладних програм Stat Soft Statistica 6.0 отримані та проаналізовані статистичні математичні моделі для ефективності відведення рослинних решток кукурудзи та соняшнику від стояка сошника.

Для кукурудзи:

$$Y_K = 87,3 + 16,9x_1 + 11,3x_2 + 10,5x_3 - 6,7x_4 - 4,2x_5 - 6,5x_1^2 - 7,6x_2^2 - 3,7x_3^2 - 8,5x_4^2 - 8,2x_5^2 + 0,3x_1x_2 - 2,2x_1x_3 - 2,2x_1x_4 + 0,3x_1x_5 - 5,3x_2x_3 - 0,3x_2x_4 - 0,3x_2x_5 - 1,6x_3x_4 - 0,3x_3x_5 - 2,4x_4x_5 \quad (4.2)$$

Для соняшнику:

$$Y_C = 87,3 + 16,9x_1 + 11,3x_2 - 9,6x_3 - 4,9x_4 - 4,1x_5 - 6,7x_1^2 - 7,7x_2^2 - 4,8x_3^2 - 6,7x_4^2 - 8,4x_5^2 + 0,3x_1x_2 - 2,2x_1x_3 - 2,2x_1x_4 + 0,3x_1x_5 - 5,3x_2x_3 - 0,3x_2x_4 - 0,3x_2x_5 - 1,6x_3x_4 - 0,3x_3x_5 - 2,4x_4x_5 \quad (4.3)$$

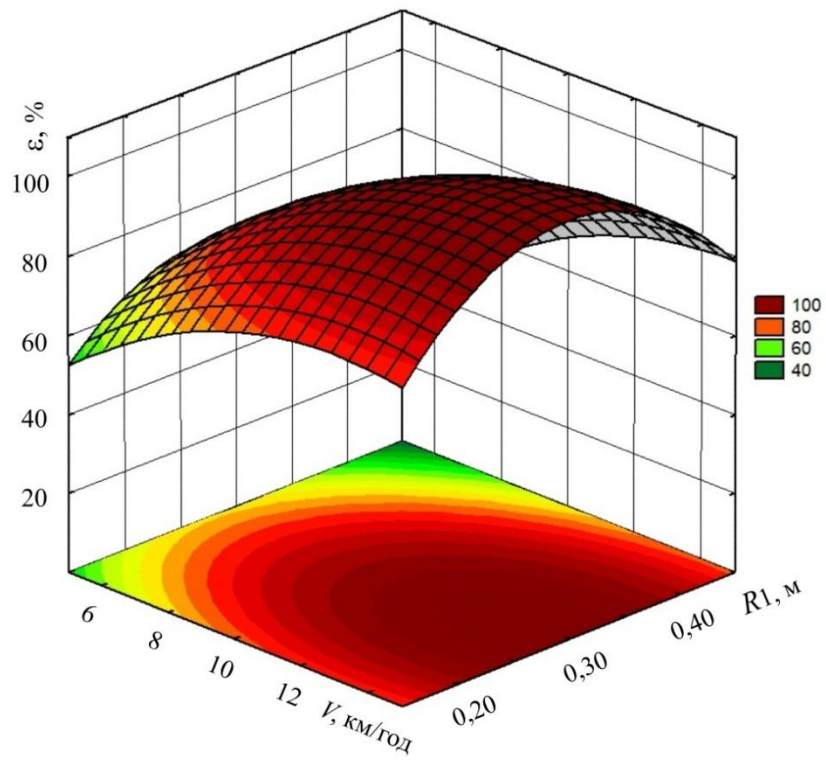
Для визначення найбільш суттєвого впливу факторів на цільову функцію використовували відображення стандартизованої Парето-карти (рис. 4.1). На Парето-карті наочно можна побачити фактори та їх взаємозв'язок, що мають статистично-значимі ефекти. На це вказує те, що

відповідні стовпці перетинають вертикальну лінію, яка відповідає 95% тесту для визначення значимості. Провівши аналіз Парето-карти для ефективності відведення рослинних решток пшениці від стояка $Y(\epsilon)$ (рис. 4.1) можна зробити висновок, що найбільший вплив мають значення швидкості руху посівної секції x_1 , лінійної густини рослинних решток x_5 , радіусу кривизни стеблевідводу x_2 , кута нахилу стеблевідводу x_3 , квадратичної взаємодії x_4^2 , x_3^2 , x_2^2 , x_1^2 , x_4^2 та попарної взаємодії x_1x_3

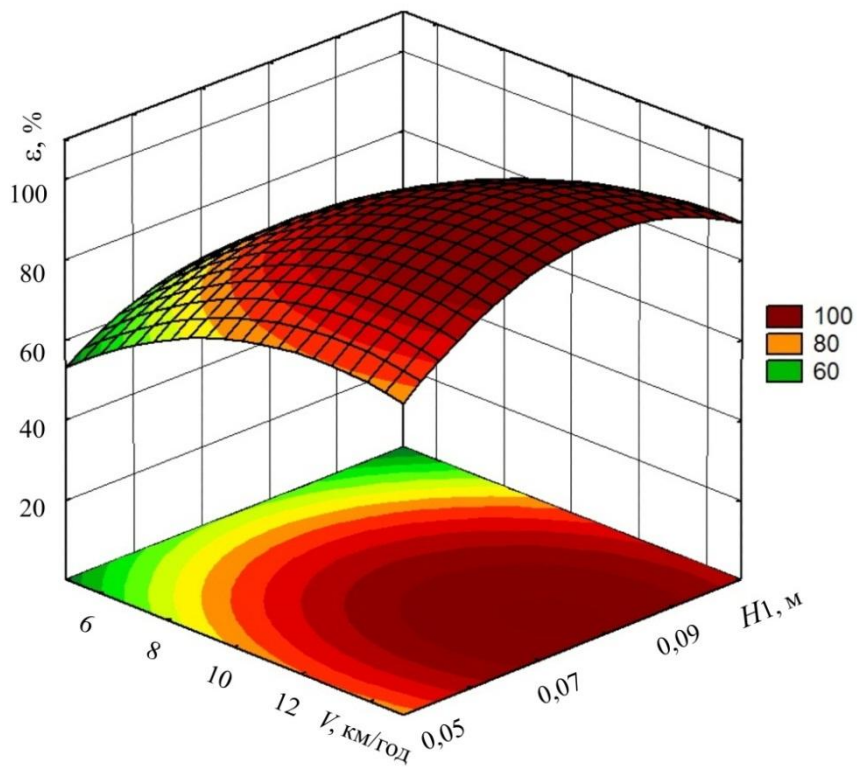


Рис. 4.1. Стандартизована Парето-карта для ефективності відведення рослинних решток пшениці від стояка сошника $Y_{II}(\epsilon)$

Отримані експериментальним шляхом графіки (рис. 4.2-4.7) характеризують взаємний вплив вищевказаних факторів на критерій оптимізації. Поверхні відгуку та лінії рівного виходу ефективності відведення рослинних решток пшениці $Y_{II}(\epsilon)$ (рис. 4.2-4.6) дозволяють відмітити, що найвища ефективність відведення рослинних решток від стояка сошника досягається при знаходженні значень чинників в діапазоні: $x_1 \rightarrow V = 10-14$ км/год; $x_2 \rightarrow R1 = 0,2-0,3$ м; $x_3 \rightarrow \alpha = 20-24$ град.; $x_4 \rightarrow H1 = 0,70-0,8$ м; $x_5 \rightarrow \mu = 0,05-0,15$.

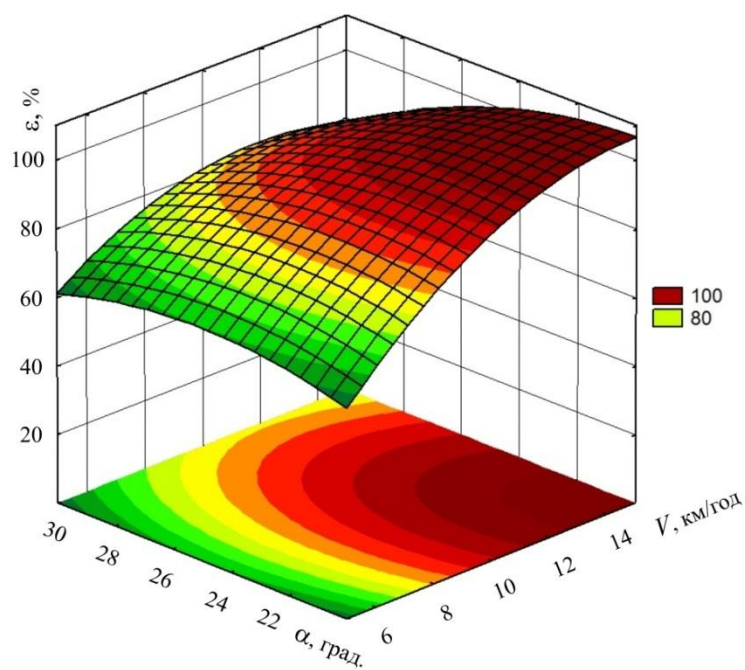


а)

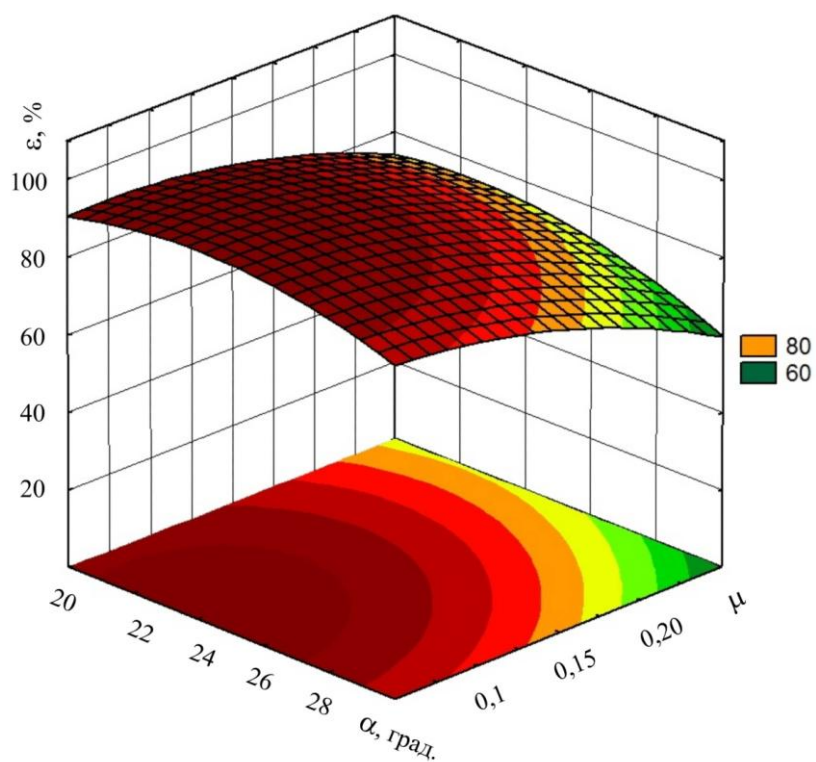


б)

Рис. 4.2. Залежність ефективності відведення рослинних решток від взаємного впливу швидкості руху та: а) радіусу $R1$ стеблевідводу - $Y = f(x_1x_2)$ б) висоти стеблевідводу $H1$ - $Y = f(x_1x_4)$



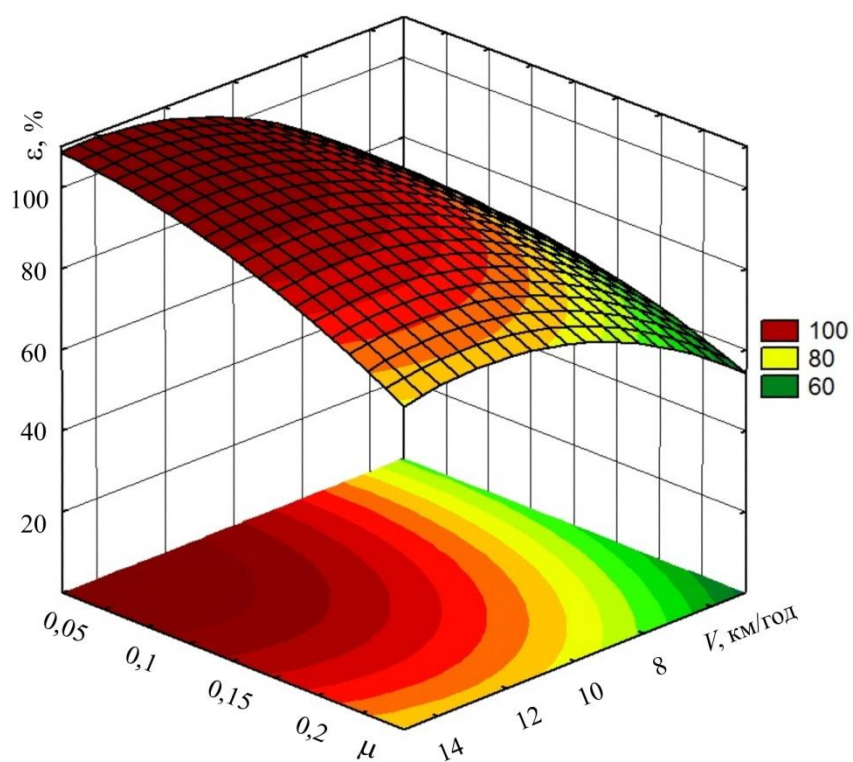
а)



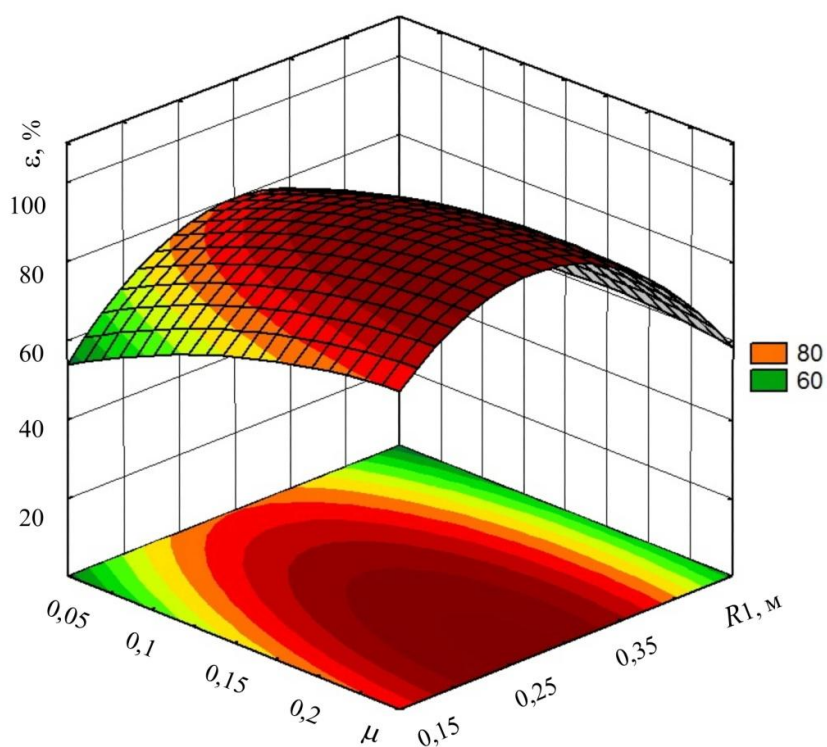
б)

Рис. 4.3. Залежність ефективності відведення рослинних решток від взаємного впливу кута нахилу стеблевідводу α та: а) швидкості руху V - $Y = f(x_1 x_3)$ б) коефіцієнта лінійної густини рослинних решток μ -

$$Y = f(x_3 x_5)$$



а)



б)

Рис. 4.4. Залежність ефективності відведення рослинних решток від взаємного впливу коефіцієнта лінійної густини рослинних решток μ та: а) швидкості руху сошника $Y = f(x_1 x_5)$; б) радіусу стеблевідводу R_1 - $Y = f(x_2 x_5)$

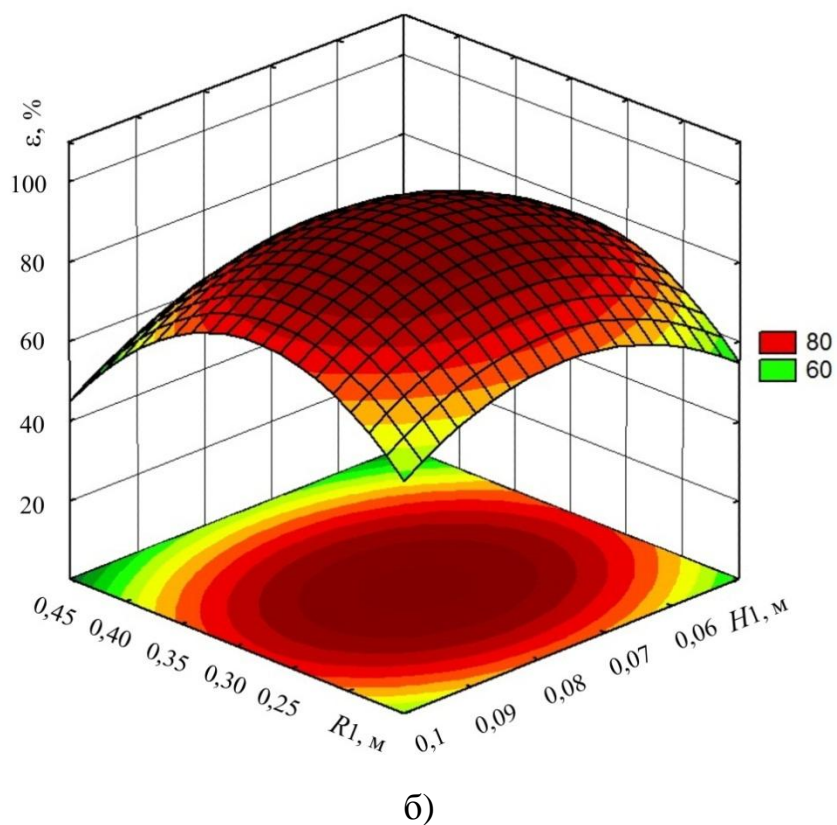
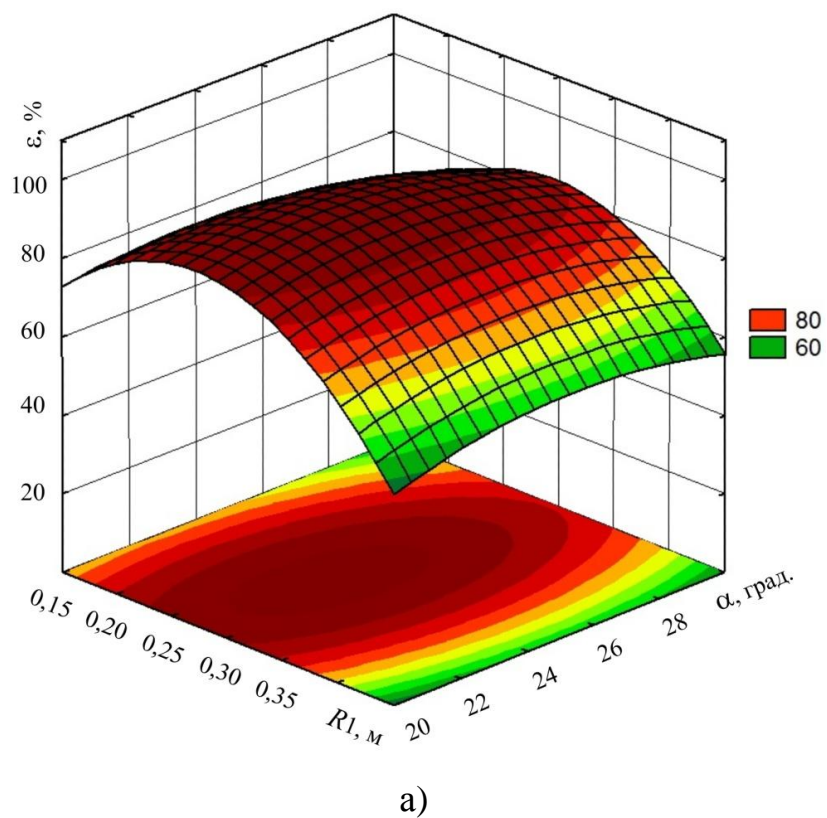
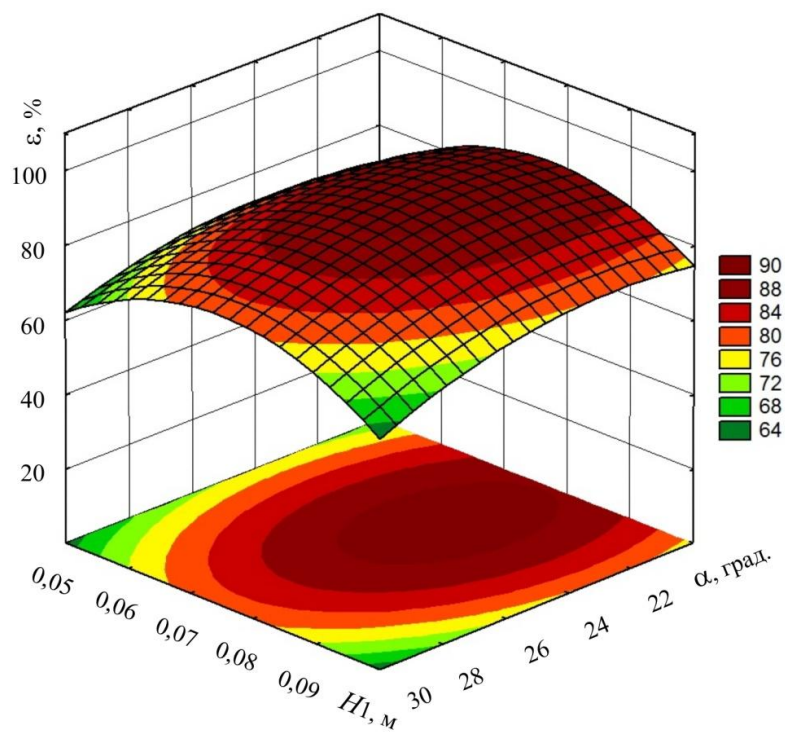
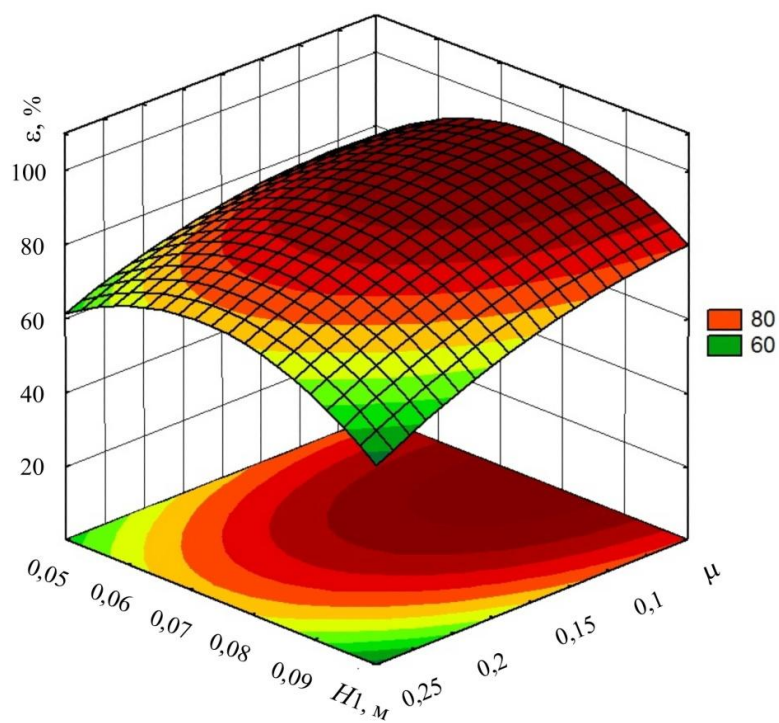


Рис. 4.5. Залежність ефективності відведення рослинних решток від взаємного впливу радіусу стеблевідводу $R1$ та: а) кута нахилу стеблевідводу α $Y = f(x_2x_3)$, б) висоти стеблевідводу $H1$ - $Y = f(x_2x_4)$



а)



б)

Рис. 4.6. Залежність ефективності відведення рослинних решток від взаємного впливу висоти стеблевідводу H_1 та: а) кута нахилу стеблевідводу α $Y = f(x_3x_4)$, коефіцієнта лінійної густини рослинних решток μ -

$$Y = f(x_4x_5)$$

Зручно використовувати для аналізу впливу фактору на критерії оптимізації експериментальні графіки розсіювання з гістограмами (рис. 4.7), які побудовані в системі прикладних програм StatSoft Statistica 6.0 і дозволяють визначити графічно раціональні значення кожного чинника, з оцінкою реальних значень параметра оптимізації.

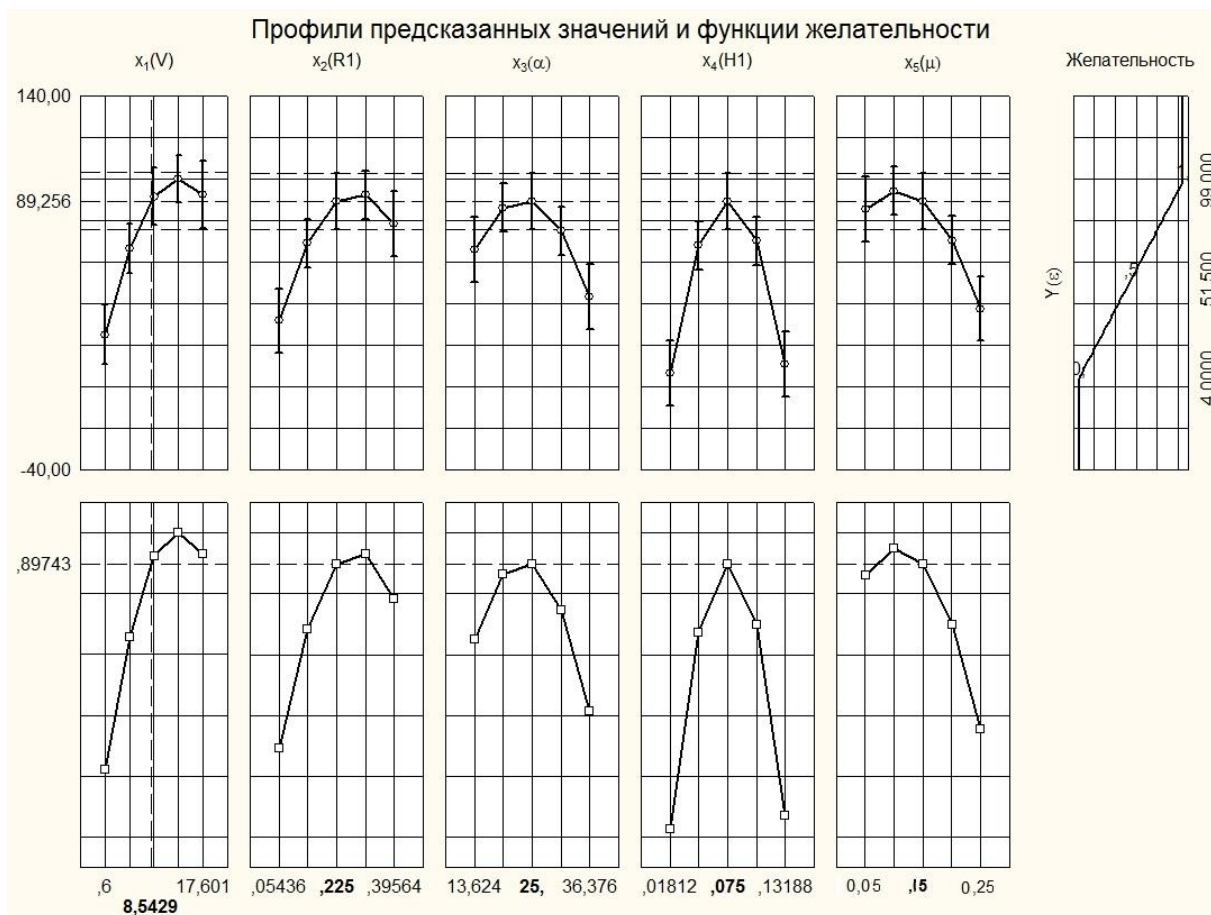


Рис. 4.7. Графіки та гістограми розсіювання впливу факторів на ефективність відведення рослинних решток пшениці від стояка сошника

Аналіз експериментальних графіків розсіювання дає можливість уточнити характер зміни факторів та проаналізувати їх взаємний вплив на критерій оптимізації. Так при збільшенні швидкості руху посівної секції $x_1(V)$ ефективність відведення рослинних решток від сошника поступово зростає до 13 км/год, а потім знижується, а отже раціональними значеннями роботи є швидкість 10-13 км/год. Подібна ситуація спостерігається для радіусу кривизни стеблевідводу $x_2(R_1)$, розміри якого

повинні знаходитися в межах 0,2-0,3 м. Кут нахилу стеблевідводу $x_3(\alpha)$ для забезпечення піднімання рослинних решток на горизонтальну частину складає 22-24°, при цьому висота стеблевідводу $x_4(H_1)$ має бути не меншою за 0,07-0,08 м. При вище наведених інших чинниках коефіцієнт лінійної густини рослинних решток $x_5(\mu)$ для досягнення ефективності відведення рослинних решток від стояка сошника на рівні 90% має знаходитися в межах 0,05-0,1.

Для детального аналізу експериментальних даних безпосередньо по кожному з факторів побудуємо графіки їх впливу на ефективність відведення рослинних решток від стояка сошника різних культур (агрофон пшениця, кукурудза, соняшник), рис. 4.8-4.12.

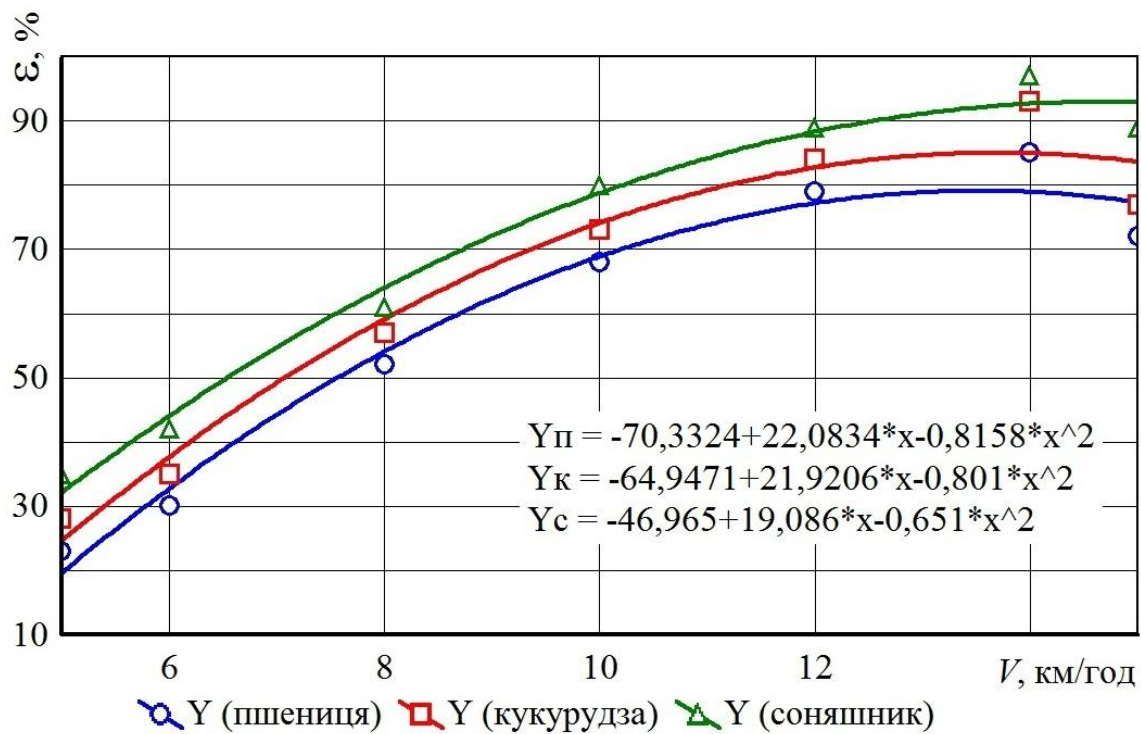


Рис. 4.8. Залежність ефективності відведення рослинних решток від робочої швидкості сошника V при: $R_1 = 0,3$ м, $\alpha = 20$ град., $H_1 = 0,075$ м, $\mu = 0,15$

Встановлено, що при підвищенні робочої швидкості руху сошника до $V=14$ км/год ефективність відведення рослинних решток від стояка

покращується (рис. 4.8) для всіх розглянутих видів рослинних решток. При подальшому підвищенні швидкості збільшується кількість рослинних решток, які поступають на стеблевідвід, внаслідок чого умови їх руху погіршуються і ефективність відведення їх від стояка зменшується.

Тому, при виборі швидкісного режиму необхідно вибирати максимально можливі значення швидкості, які обмежуються агротехнічними вимогами до якості загортання насіння та ефективністю відведення рослинних решток від стояка. Найбільш сприятливим для даних випадків є швидкісний режим в межах $V=12\ldots14$ км/год.

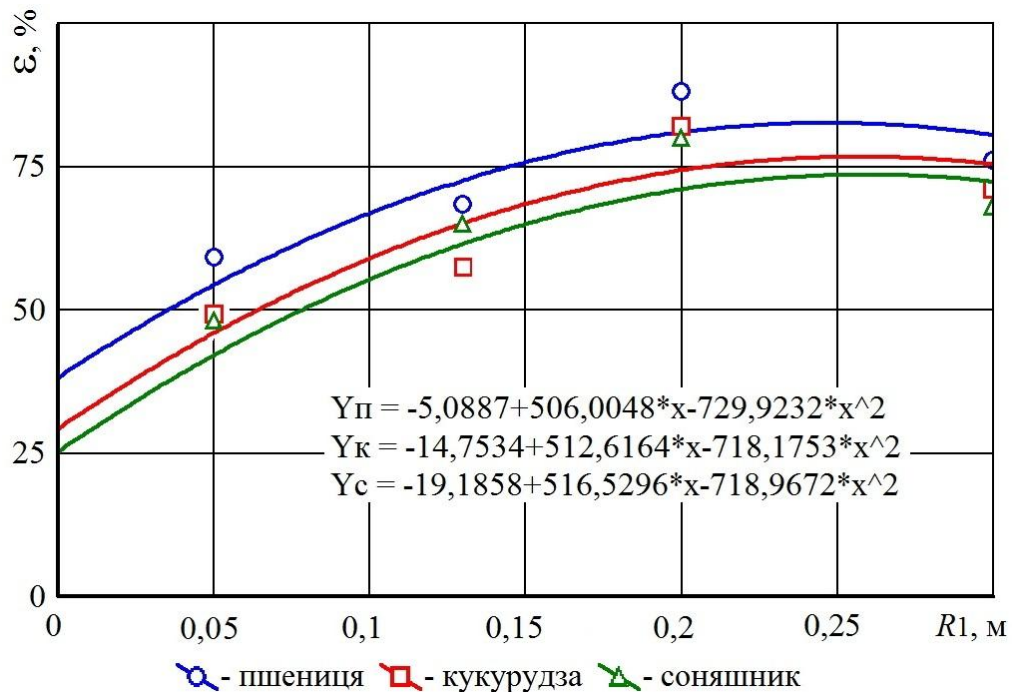


Рис. 4.9. Вплив радіусу стеблевідводу R_1 на ефективність відведення рослинних решток: $V = 12$ км/год, $\alpha = 20$ град., $H_1 = 0,075$ м, $\mu = 0,15$

Зі збільшенням радіусу стеблевідводу (рис. 4.9) ефективність відведення рослинних решток від стояка соняшника підвищується і при значеннях $R_1 = 0,2\ldots0,3$ м сягає максимальних значень, подальше збільшення радіусу погіршує умови утримання рослинних решток на стеблевідводі і зменшує ефективність відведення їх від стояка.

Величина кута нахилу стеблевідводу α впливає на шлях, який рослинні рештки пройдуть по стеблевідводу і піднімуться на висоту необхідну для відведення їх від стояка сошника. При малих значення кута нахилу стеблевідводу α ефективність відведення рослинних решток від стояка сошника збільшується (рис. 4.10), практично однаково для різних видів рослинних решток.

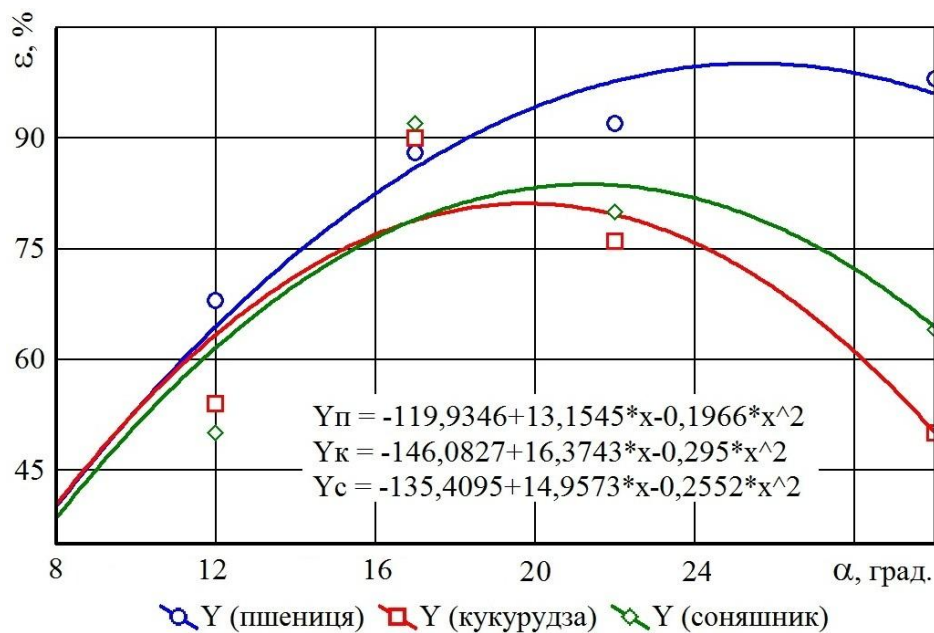


Рис. 4.10. Вплив кута нахилу стеблевідводу α на ефективність відведення рослинних решток: $R_1 = 0,3$ м, $V = 12$ км/год, $H_1 = 0,075$ м, $\mu = 0,15$

Подальше збільшення кута нахилу стеблевідводу α зменшує ефективність відведення рослинних решток, так як сили їх тертя по стеблевідводу не дають піднятися на необхідну висоту. В наслідок чого вони на ньому не втримуються і можуть попадати на стояк. Післяжнивні рослинні рештки пшениці мають досить невеликий діаметр, і тому краще згинаються і утримуються на стеблевідводі. В результаті того, що сили тертя по поверхні поля більші сил тертя по поверхні стеблевідводу відбувається рух рослинних решток по ньому.

Збільшення висоти стеблевідводу на початку сприяє зчепленню рослинних решток з ґрунтом, а потім досягає такого стану, коли сили тертя

по стеблевідводу стають більшими, і рух рослинних решток по ньому припиняється, ефективність відведення зменшується (рис. 4.11).

Враховуючи фізико-механічні властивості рослинних решток досліджуваних культур, найбільш несприятливі умови при збільшенні висоти стеблевідводу мають післяжнивні рослинні рештки кукурудзи.

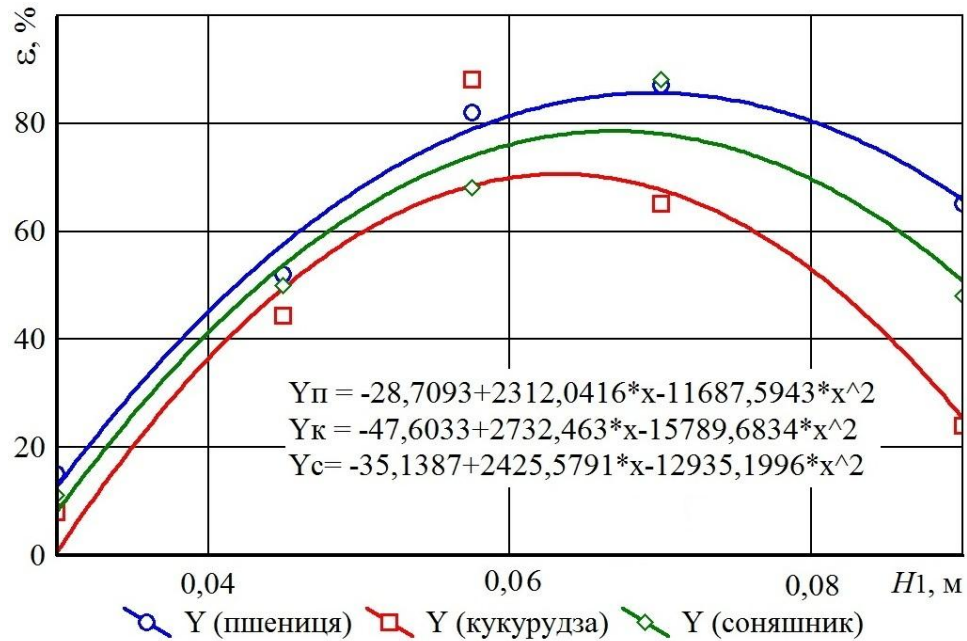


Рис. 4.11. Вплив висоти стеблевідводу H_1 на ефективність відведення рослинних решток: $R_1 = 0,3 \text{ м}$, $V = 12 \text{ км/год}$, $\alpha = 20 \text{ град.}$, $\mu = 0,15$

При невеликих значеннях коефіцієнта лінійної густини рослинних решток, вони рухаючись по стеблевідводу без ущільнення, не утримуються на ньому, злітають і попадають на стояк. По мірі збільшення коефіцієнта лінійної густини рослинних решток, вони рухаються по стеблевідводу ущільненим шаром і відводяться стеблевідводом без сповзання з нього. Найбільш сприятливі умови для їх відведення у даному випадку створюються при коефіцієнті лінійної густини рослинних решток: для пшениці $\mu = 0,14 - 0,18$, кукурудзи $\mu = 0,1 - 0,15$, соняшнику $\mu = 0,08 - 0,12$.

Менші значення ефективності відведення рослинних решток пшениці пояснюються тим, що маючи порівняно малий поперечний

діаметр і менш пружні властивості вони погано утримуються на стеблевідводі, внаслідок чого попадають на стояк.

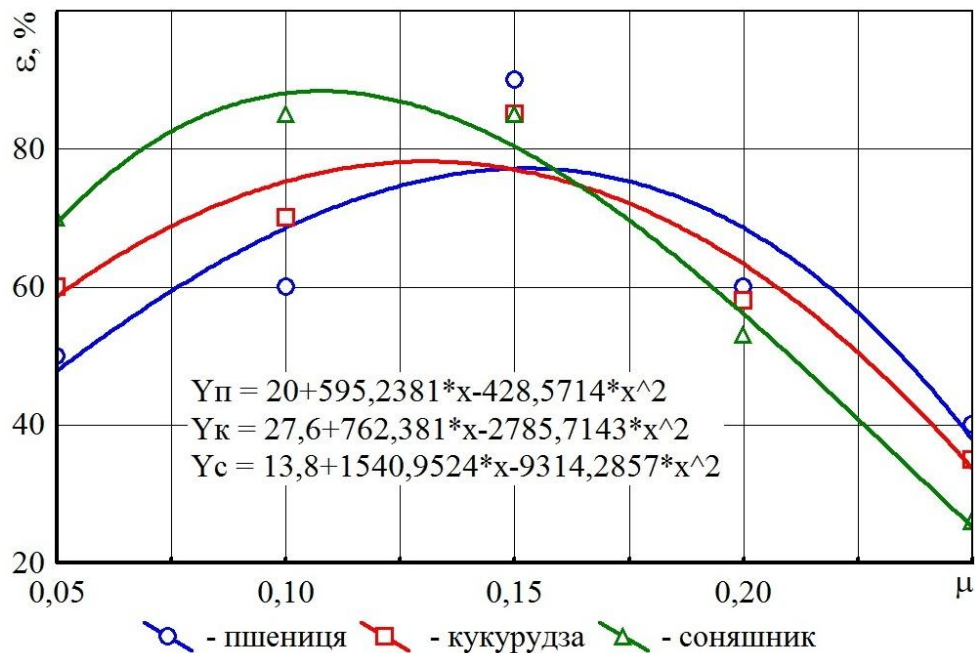


Рис. 4.12. Вплив лінійної густини рослинних решток μ на ефективність їх відведення при: $R_1 = 0,3 \text{ м}$, $V = 12 \text{ км/год}$, $\alpha = 20 \text{ град.}$, $H_1 = 0,075 \text{ м}$

4.3. Результати порівняльних лабораторних досліджень тягового опору сошників

Енергетичні показники роботи сошників сівалок є основними для вирішення задач сільськогосподарського машинобудування: економії матеріалів, покращення технологічного процесу, зменшення витрат енергії і коштів.

Для порівняльної оцінки запропонованої конструкції сошника із стеблевідводом рослинних решток за методикою наведеною в п. 3.4 були проведені лабораторні порівняльні випробування з найбільш поширеними конструкціями сошників: дводисковим і анкерним (табл. 4.5). Апроксимація даних поліномом другого ступеню залежності тягового опору від глибини сівки (рис. 4.13) дозволила отримати наступні рівняння для сошників:

– експериментального $R_E = -118,35 + 12,96 \cdot h_c - 0,07 \cdot h_c^2$; (4.4)

– анкерного $R_A = -61,8 + 11,48 \cdot h_c - 0,05 \cdot h_c^2$; (4.5)

– дводискового $R_D = -21,8 + 10,9 \cdot h_c - 0,03 \cdot h_c^2$. (4.6)

Апроксимація даних поліномом другого ступеню залежності тягового опору від швидкості руху (рис. 4.14) дозволила отримати наступні рівняння для сошників:

– експериментального $R_E = 371,8 - 35 \cdot V_c + 30,5 \cdot V_c^2$; (4.7)

– анкерного $R_A = 467,4 - 149,9 \cdot V_c + 86,8 \cdot V_c^2$; (4.8)

– дводискового $R_D = 558,9 - 207,5 \cdot V_c + 121,5 \cdot V_c^2$. (4.9)

Таблиця 4.5

Середнє значення тягового опору для порівнюваних сошників

Сошники	Глибина сівби, мм	Середнє значення тягового опору, R , при швидкості руху, м/с			
		0,68	1,25	2,1	3,48
Експериментальний	30	210	294	384	512
	50	360	380	430	620
	70	459	493	521	703
	90	501	528	607	751
Анкерний	30	241	334	414	541
	50	403	421	532	998
	70	518	557	591	743
	90	608	648	707	773
Дводисковий	30	279	374	452	586
	50	449	542	625	1315
	70	598	620	652	1351
	90	721	659	735	1392

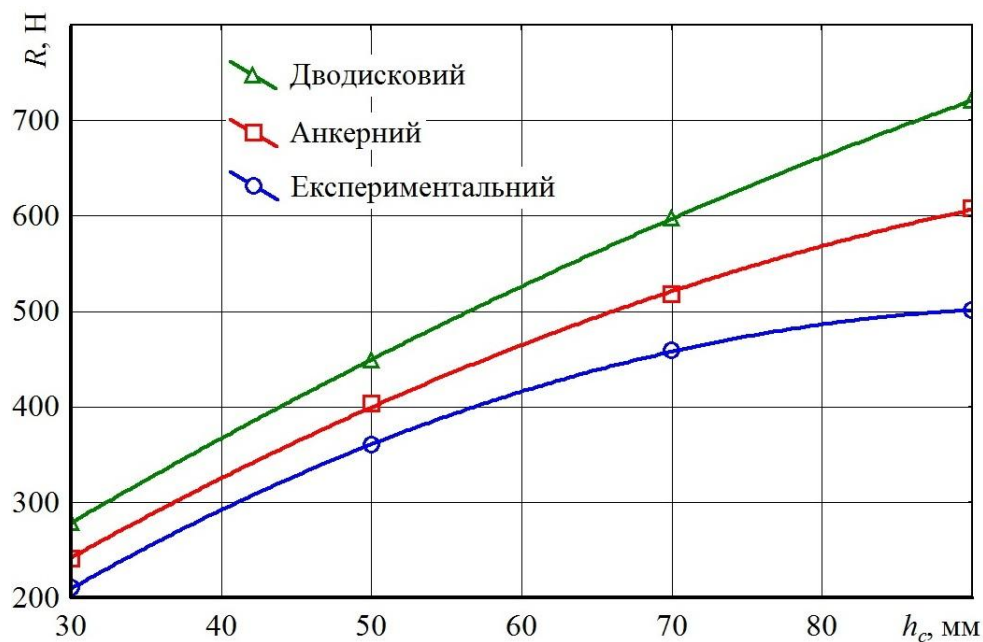


Рис. 4.13. Залежність зміни тягового опору сошників R від глибини сівби при швидкості руху $V=0,68$ м/с

Порівнюючи сошники за тяговим опором (рис. 4.13 та рис. 4.14), залежно від глибини сівби та швидкісного режиму експериментальні порівняно з серійними мають переваги, відповідно: з анкерними на - 14% і дводисковими на - 22%.

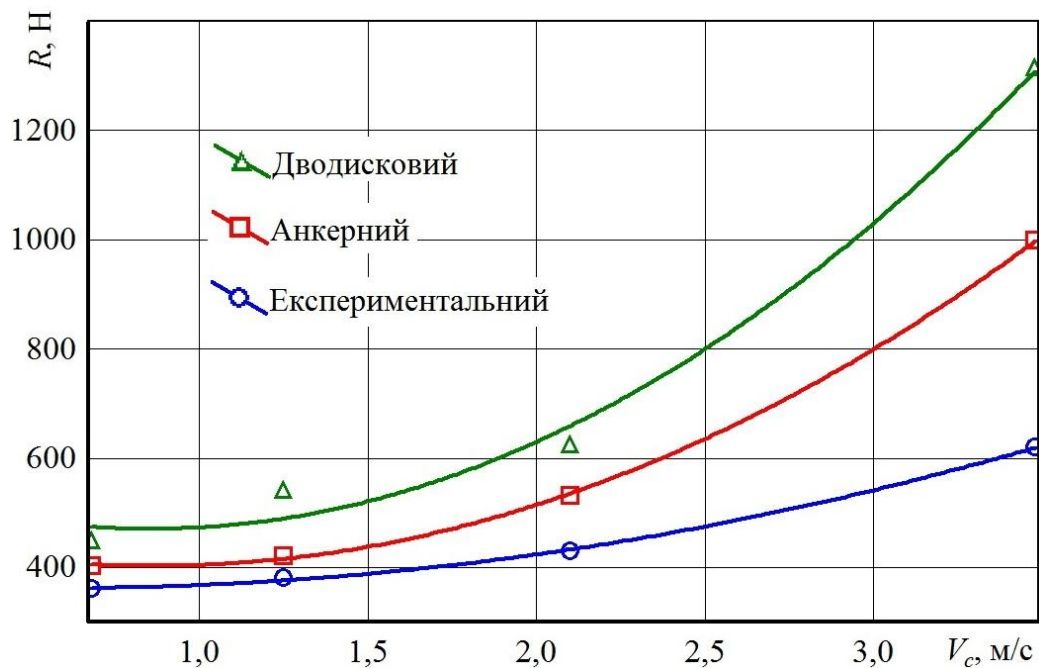


Рис. 4.14. Залежність зміни тягового опору сошників від швидкості руху при глибині сівби $h_c=50$ мм

4.4. Порівняльні показники роботи експериментального сошника

Проведені теоретичні та лабораторні дослідження дали змогу визначити основні геометричні параметри запропонованої конструкції стеблевідводу сошника, встановити найбільш значимі фактори, які впливають на якість його роботи. Тому польові випробування були призначені підтвердити чи спростувати достовірність отриманих теоретичним шляхом результатів.

В якості основних показників виконання технологічного процесу були прийняті:

- рівномірність загортання насіння по глибині, яка визначалася коефіцієнтом варіації ρ ;
- значення реальної глибини загортання насіння.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що залежність зміни коефіцієнта варіації від швидкості руху агрегату апроксимується наступними виразами в розкодованому вигляді:

- для експериментального сошника

$$\rho_E = 0,4143 \cdot V^2 - 4,4571 \cdot V + 33,527 \quad (4.10)$$

- для анкерного сошника

$$\rho_A = 0,4274 \cdot V^2 - 4,5512 \cdot V + 36,743 \quad (4.11)$$

- для дводискового сошника

$$\rho_D = -0,1774 \cdot V^2 + 2,6226 \cdot V + 23,914 \quad (4.12)$$

Характер даного показника (рис. 4.15) для різних з порівнюваних сошників має певні особливості, не завжди аналогічні до традиційних і звичних для сприйняття. Як і очікувалося, якість загортання насіння дисковим сошником з підвищенням робочої швидкості знижувалася. Результати ж роботи сошників з гострим кутом входження в ґрунт виявилися в певній мірі не зовсім очікуваними.

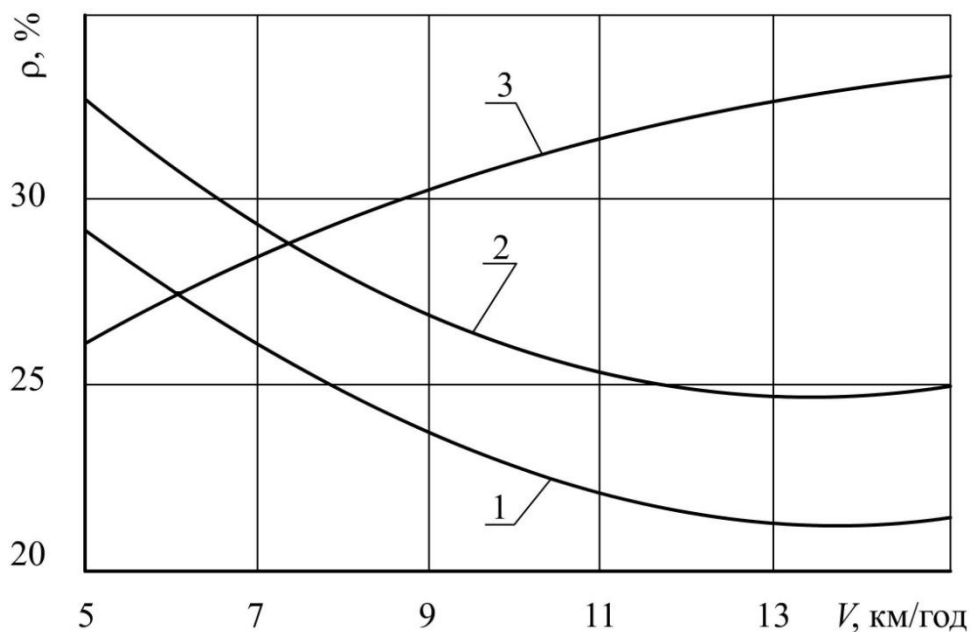


Рис. 4.15. Залежність коефіцієнта варіації глибини загорання насіння ρ від робочої швидкості посівного агрегату для порівнювальних сошників:
1 – експериментальний; 2 – анкерний; 3 - дводисковий

Так, з підвищенням робочої швидкості рівномірність загорання насіння спочатку підвищувалася до досягнення робочих швидкостей близьких до 13 км/год, а потім знижувалася. Для експериментального сошника пояснити такі показники можна особливостями конструкції секції до складу якої він входить. При малих швидкостях і недостатніх динамічних навантаженнях на ґрунтові елементи з боку копіювального котка сошник встигав реагувати на всі нерівності мікрорельєфу поверхні поля (грудки, післяжнивні рослинні рештки попередників та ін.) в результаті чого знижувалася і рівномірність загорання насіння. З підвищенням поступальної швидкості копіювання поверхні поля вирівнювалося, а отже покращувалася і якість загорання. При досягненні швидкостей понад 13 км/год загортаюча робоча система не встигала копіювати поверхню поля і якісний показник знову погіршувався. Характер роботи анкерного сошника схожий з експериментальним, але загальний показник рівномірності загорання насіння нижчий від експериментального в середньому на 5...7%. До того ж, за наявності

певної кількості рослинних решток на поверхні поля він виявляється непрацездатним.

Порівняно із дводисковими експериментальні сошники забезпечують агротехнічні вимоги на швидкостях 13 км/год і більше. Дводискові задовільно працюють на малих швидкостях, а із збільшенням швидкості більше 8 км/год насіння виноситься дисками навіть на поверхню поля, яке загортається шлейфом сівалки у поверхневому шарі ґрунту на невеликій глибині. Характер залежності показника рівномірності для експериментального сошника від заданої глибини загортання насіння при різних робочих швидкостях (рис. 4.16, 4.17) є схожим з відомими результатами, отриманими попередніми дослідниками.

В даному випадку є логічним зниження значення коефіцієнта варіації, а отже і покращення якості роботи зі збільшенням заданої глибини загортання насіння і перемінне його значення з наростанням робочої швидкості.

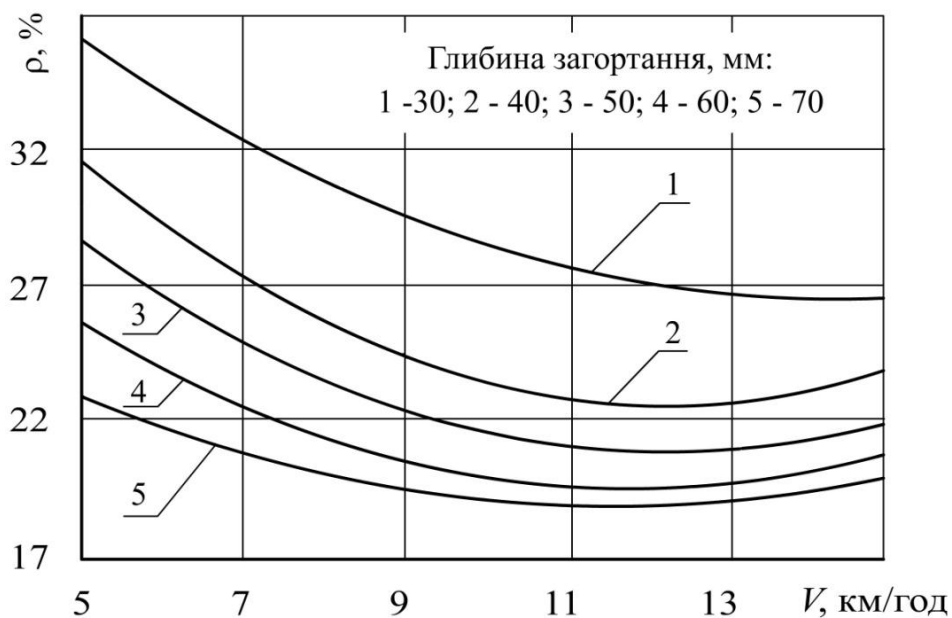


Рис. 4.16. Залежність коефіцієнта варіації рівномірності загортання насіння для різної глибини ходу сошника від робочої швидкості посівного агрегату

Не менш важливим для оцінки якості роботи сошникових груп є дотримання ними заданих глибин загортання насіння на різних робочих швидкостях.

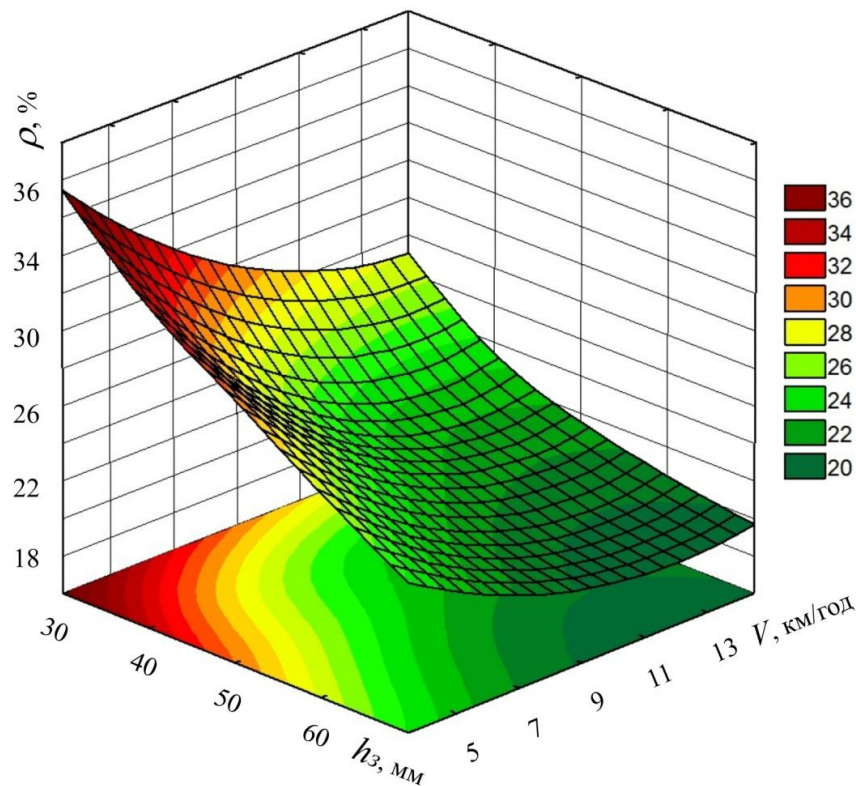


Рис. 4.17. Залежність рівномірності розподілу насіння по глибині від взаємного впливу заданої глибини загортання h_z та робочої швидкості сівалки V

Найбільшим відхиленням в даному випадку (рис. 4.18) у діапазоні $V=7\ldots 13$ км/год характеризується дисковий сошник. Для нього реальна глибина загортання насіння при заданій $h_z = 5$ см становить близько 4 см з тенденцією зниження зі збільшенням швидкості. Криві 1 та 2, що описують забезпечення реальної глибини загортання насіння сошниками з гострим кутом входження в ґрунт, мають змінний характер. Експериментальний сошник забезпечує більшу відповідність реального значення глибини ходу заданому. Причому максимальне наближення між заданим та реальним значенням досягається в діапазоні робочих швидкостей близьких до 13 км/год.

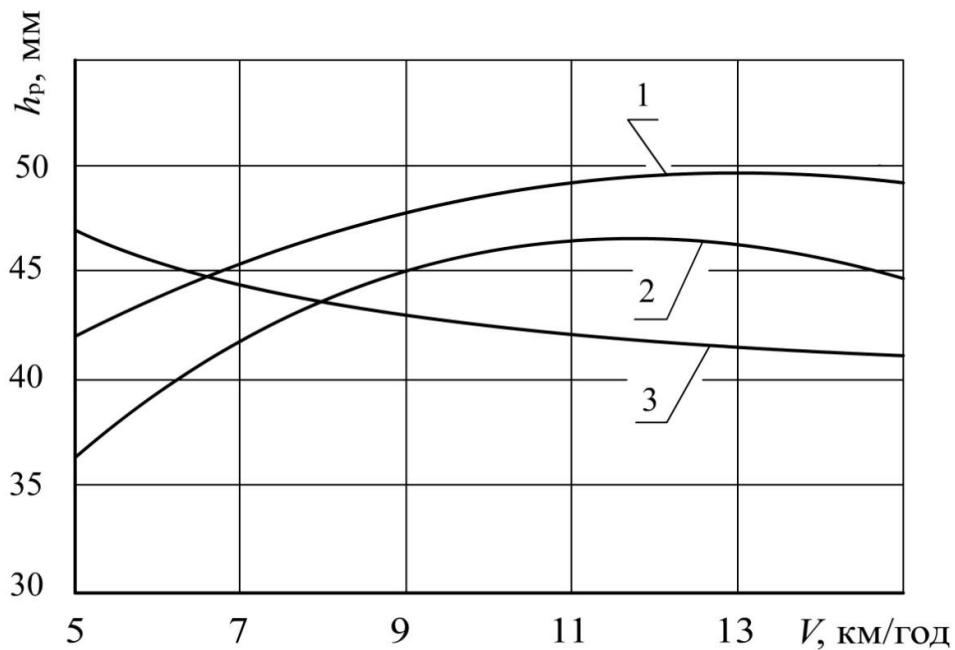


Рис. 4.18. Залежність реальної глибини h_p загортання насіння в ґрунт від робочої швидкості агрегату V при заданих глибинах сівби – $h_z = 50$ мм:

1 – експериментальний сошник; 2 – анкерний сошник; 3 – дисковий сошник

Сошники посівних секцій з гострим кутом входження в ґрунт, обладнані оригінальними елементами конструкції стеблевідводами, забезпечують надійне виконання технологічного процесу без попереднього обробітку ґрунту при значно вищих робочих швидкостях і меншій металоємності машини в цілому.

Порівняно із дводисковими експериментальні сошники забезпечують агротехнічні вимоги на швидкостях 13 км/год і більше. Дводискові сошники задовільно працюють на малих швидкостях, а із збільшенням швидкості більше 8 км/год насіння виноситься дисками навіть на поверхню поля, яке загортається шлейфом сівалки у поверхневому шарі ґрунту на невеликій глибині. Аналіз статистичних даних по показнику глибини загортання насіння свідчить про вищу рівномірність висіву посівного матеріалу порівняно з дисковими та анкерними базовими сошниками.

Експериментально уточнено встановлений за результатами теоретичних досліджень діапазон зміни раціональних значень параметрів стеблевідводу сошника для прямої сівби зернових культур, при яких забезпечується надійна і ефективна його робота:

- швидкість руху сівалки – 10...13 км/год.;
- кут нахилу передньої ділянки стеблевідводу сошника до поверхні поля – 22...24°;
- висота другої ділянки стеблевідводу над поверхнею ґрунту не менше – 0,07...0,08 м;
- радіус другої ділянки стеблевідводу в межах – 0,25...0,3 м.
- коефіцієнт густини розташування рослинних решток пшениці $\mu = 0,14 - 0,18$, кукурудзи $\mu = 0,1 - 0,15$, соняшнику $\mu = 0,08 - 0,12$.

Експериментальні сошники порівняно з серійними за показниками тягового опору залежно від глибини сівби та швидкісного режиму мають переваги, відповідно з анкерними на - 14% і дводисковими на - 22%.

5

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

5.1. Впровадження результатів досліджень

За результатами проведених досліджень розроблена конструкція експериментального зразка сівалки для прямої сівби зернових культур, в конструкції якої використані сошники з обґрунтованими в роботі конструктивними параметрами (рис. 3.8, 5.1). Досліджуваний зразок сівалки виготовлений на підприємстві по виготовленню сільськогосподарської техніки ПП "Савицький М.І."

З метою визначення ефективності роботи експериментальної сівалки СПП-1,5 обґрунтування можливості використання її із сошниками, які мають гострий кут входження в ґрунт, уточнення окремих конструктивних параметрів машини в польових умовах та подальшої експериментальної перевірки теоретичних положень і висновків 03 вересня 2012 року, на полі № 2 насіннево-технологічної сівозміни КДСГДС ІСГСЗ НААН були проведені польові випробування.



Рис. 5.1. Загальний вигляд посівного агрегату
з експериментальною сівалкою прямої сівби СПП-1,5

За результатами проведених досліджень уточнено технічну характеристику експериментальної сівалки прямої сівби. Так продуктивність машини становить: основного часу – 1,80 га/год; експлуатаційного часу – 1,26 га/год; змінного часу – 8,82 га/зм., питома матеріалоемність – 486,7 кг/м.

На основі проведених випробовувань було також встановлено:

- конструкція експериментальної сівалки прямої сівби СПП-1,5 є працездатною;
- сошники посівних секцій з гострим кутом входження в ґрунт, обладнані оригінальними елементами конструкції стеблевідводами, забезпечують надійне виконання технологічного процесу, успішно відводять рослинні рештки від стояків запобігаючи їх накопиченню;
- аналіз статистичних даних по показнику глибини загортання насіння свідчить про вищу рівномірність загортання посівного матеріалу порівняно з дисковими та анкерними базовими сошниками.

5.2. Економічна ефективність від впровадження результатів роботи

Оцінка економічної ефективності запропонованої конструкції загортаючого робочого органу для прямої сівби зернових культур проведена за результатами експлуатаційно-технологічного дослідження їх параметрів згідно з ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88, ГОСТ 24059-88 та ДСТУ 4397: 2005 та чинними нормативними документами, що відображають надійність машин, якість їх роботи, безпечність та умови праці механізаторів [106].

За результатами проведених досліджень виконаний розрахунок економічної ефективності нової сівалки СПП-4,2 у порівнянні з сівалкою СТС-2,1.

Критерієм економічного оцінювання є річний економічний ефект від експлуатації нової машини, величина якого має забезпечувати рівень

ефективності інвестиційних вкладень не нижче нормативного (на етапі випробувань приймають рівним 0,2).

Показниками порівняльної економічної ефективності є річний економічний ефект, термін окупності додаткових інвестиційних вкладень у роках, річна економія ресурсів.

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини з урахуванням кількості та якості продукції (E_p) у гривнях визначали за формулою:

$$E_p = (\Pi_{\delta} - \Pi_n) \cdot B_3 + E_{\text{я}}, \quad (5.1)$$

де Π_{δ} , Π_n – сукупні витрати на одиницю виробітку відповідно по базовій і новій машинах, грн./од. виробітку;

B_3 – річний обсяг виробітку новою машиною в умовах певної природно-кліматичної зони, од. виробітку;

$E_{\text{я}}$ – річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн.

Зональний річний обсяг виробітку новою машиною (B_3) в одиницях виробітку обчислювали за формулою:

$$B_3 = W_{\text{ек}} \cdot T_3, \quad (5.2)$$

де $W_{\text{ек}}$ – продуктивність нової машини за 1 год експлуатаційного часу, од. виробітку/год;

T_3 – зональне річне завантаження машини, год.

Річний економічний ефект (O) від експлуатації нової машини у гривнях розраховували за формулою:

$$O = (I_{\delta} - I_n) \cdot B_3, \quad (5.3)$$

де I_{δ} , I_n – прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій та новій машинах на одиницю виробітку, грн./од. виробітку.

Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень на нову

машину ($T_{окд}$) у роках можна оцінити за формулою:

$$T_{окд} = \frac{K_n - K_б}{O}, \quad (5.4)$$

де $K_n, K_б$ – сумарні інвестиційні вкладення відповідно у нову та базову машини, грн.

Сукупні витрати (Π) у гривнях на одиницю виробітку розраховували за формулою:

$$\Pi = I + K \cdot E_n, \quad (5.5)$$

де I – прямі експлуатаційні витрати, грн./од. виробітку;

K – питомі інвестиційні вкладення, грн./од. виробітку;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

Прямі експлуатаційні витрати (I) у гривнях на одиницю виробітку розраховували за формулою:

$$I = Z + G + P + A, \quad (5.6)$$

де Z – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./од. виробітку;

G – затрати на паливно-мастильні матеріали та електроенергію, грн./од. виробітку;

P – затрати на технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонти, грн./од. виробітку;

A – затрати на амортизацію, грн./од. виробітку.

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу (Z) у гривнях на одиницю виробітку визначали за формулою:

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot \kappa_d \cdot n_i}{W_{зм}}, \quad (5.7)$$

де L_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для

виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонту машини (визначають за даними випробувань), люд.;

t_i – тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год;

r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці на i -му виді робіт, грн./люд.-год;

κ_o – коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо;

n_i – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату (пенсійний фонд, соціальне страхування фонд сприяння зайнятості);

$W_{зм}$ – продуктивність нової машини за годину експлуатаційного часу, од. наробітку/год.

Затрати коштів на паливно-мастильні матеріали (Γ) у гривнях на одиницю наробітку визначали за формулою:

$$\Gamma = q \cdot \kappa_n \cdot \Pi_n, \quad (5.8)$$

де q – питомі витрати палива, кг/од. наробітку;

Π_n – ціна одного кілограма палива, грн./кг;

κ_n – коефіцієнт, що враховує вартість мастильних матеріалів.

Затрати на капітальний та поточний ремонти та технічне обслуговування (P) у гривнях на одиницю наробітку визначали за формулою:

$$P = \frac{B \cdot (r_m + r_k)}{W_{ек} \cdot T_n}, \quad (5.9)$$

де r_m – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування;

r_k – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

T_n – нормативне річне завантаження, год.

Затрати на амортизацію машини (A) у гривнях на одиницю наробітку

визначали за формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{зм} \cdot T_3}, \quad (5.10)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини.

Вихідні данні для економічної оцінки нової техніки наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні данні для економічної оцінки сівалки для прямого посіву СПП-4,2

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Значення показників	
			базова СТС-2,1	нова СПП-4,2
1	2	3	4	5
1	Тип машини		причіпна	
2	Агрегатування	кл. трактора	2,0-3,0	
3	Кількість машин в агрегаті	шт.	2	1
4	Ширина захвату	м	4,2	4,2
5	Допоміжне обладнання		зчіпка	-
6	Робоча швидкість	км/год	10	10
7	Ціна сівалки	грн.	36 000	52800
8	Продуктивність:			
	- за годину основного часу	га/год	3,31	3,49
	- експлуатаційного часу	га/год	2,69	2,88
9	Коефіцієнт використання експлуатаційного часу		0,64	0,69
10	Коефіцієнт використання змінного часу		0,79	0,83

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
11	Зональний річний обсяг наробітку	га	430,4	448,0
12	Маса сівалки: - суха конструкційна - експлуатаційна	кг кг	1250 1645	2134 2924
13	Питома матеріалоемність	кг/м	595,2	508,1
14	Питомі витрати палива	кг/га	3,2	3,2
15	Кількість обслуговуючого персоналу	чол.	1	1
16	Тарифна ставка V розряду	грн./год	12,55	12,55
17	Відсоток відрахувань до амортизаційного фонду	%	15	15
18	Коефіцієнт додаткової заробітної плати за якість та доплата за класність механізатору	-	1,35	1,35
19	Відсоток відрахувань до соціальних фондів	%	37	37
20	Відсоток відрахувань на ремонт: - трактора - сівалки - зчіпки	% % %	14,9 9 8	14,9 9 -

Економія витрат на матеріали у виробника:

$$E_{\text{м}} = (595,2 - 508,1) \cdot 4,2 \cdot 14,4 = 5267,8 \text{ грн.}$$

Економія у споживача за рахунок росту продуктивності праці на одну сівалку за годину річного наробітку:

$$E_{\text{я}} = (74,82 - 57,24) \cdot 464 = 8157,12 \text{ грн.}$$

Загальна економія:

$$E_{\text{з}} = 52,67 + 8157,12 = 13424,9 \text{ грн. на одну сівалку.}$$

Річний економічний ефект у виробника на одну сівалку:

$$E_{\text{р}} = (13424,9 - 0,2(52800 - 36000 \cdot 2)) = 17264,9 \text{ грн.}$$

Вихідні данні для економічної оцінки від впровадження сівалки для прямого посіву СПП-4,2 у виробництво наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Результати розрахунку річної економії та річного економічного ефекту від впровадження сівалки для прямого посіву СПП-4,2

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Значення показників	
			базова СТС-2,1	нова СПП-4,2
1	Зональний обсяг наробітку	год	160	160
2	Фактичний обсяг наробітку	га	432	464
3	Прямі експлуатаційні витрати: - заробітна плата з нарахуванням - витрати на ПММ - витрати на ремонт - амортизаційні відрахування	грн./га	8,63 11,85 21,67 32,67	8,06 11,03 15,64 22,51
4	Всього прямі витрати	грн./га	74,82	57,24
5	Річна економія експлуатаційних витрат на один гектар	грн./га		17,58
6	Річна економія експлуатаційних витрат на річний фактичний обсяг наробітку однією сівалкою	грн.		8157,12

Проведені польові випробування підтвердили працездатність експериментальної сівалки із загортаючими робочими органами з стеблевідводами запропонованої конструкції.

В результаті застосування загортаючих робочих органів, що мають гострий кут входження в ґрунт питома матеріалоємність машини знижується на 14,3%, порівняно з базовою сівалкою.

Результати розрахунків економічної ефективності від впровадження результатів роботи показують, що очікуваний економічний ефект на одну сівалку за рік у виробника складає 5267,8 грн. а у споживача 8157,2 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Головною причиною обмеженого застосування способів прямої сівби зернових культур в агропідприємствах України є відсутність належного технічного забезпечення. Наявні посівні машини, обладнані загортаючими робочими органами з тупим кутом входження в ґрунт, мають надмірну металоємність і негативно впливають на ґрунт. Робочі органи з гострим кутом мають низьку надійність виконання технологічного процесу із-за накопичення на стояках рослинних решток, або взагалі виявляються непрацездатними. Результати проведених досліджень підтверджують можливість вирішення даної задачі шляхом реалізації висунутої в роботі гіпотези – обладнання сошників додатковим конструктивним елементом – стеблевідводом, розробкою теоретичних основ взаємодії рослинних решток з його поверхнею, обґрунтуванням основних конструктивних та технологічних параметрів.

2. Результати теоретичних досліджень свідчать, що для роботи сошників з гострим кутом входження в ґрунт обладнаних стеблевідводом найбільш несприятливими є тверді рослинні рештки дугоподібної форми та гнучкі, які вільно лежать на поверхні поля або утримуються у ґрунті кореневою системою.

3. Основні геометричні і технологічні параметри стеблевідводу дозволяє встановити розроблена математична модель (2.66) процесу його взаємодії з рослинними рештками різних видів, з різними геометричними та технологічними характеристиками.

4. На створення сприятливих умов неперервного потоку рослинних решток по стеблевідводу впливає як його геометрична форма, так і форма його поперечного перерізу на різних ділянках. Зменшення довжини стеблевідводу на першій похилій ділянці можна досягти збільшенням кута нахилу α , максимальне значення якого обмежується критичними значеннями кутів нахилу рослинних решток до поверхні поля $\varphi_{кр1}$ і $\varphi_{кр2}$,

при яких вони не зможуть самостійно піднятися на його горизонтальну частину. На другій горизонтальній ділянці зменшення довжини стеблевідводу можна досягти зміною його поперечної форми, яка дозволить підвищити сили опору поперечному рухові.

5. Рослинні рештки після виривання із ґрунту під дією тільки різниці сил тертя по поверхні поля та стеблевідводу практично не піднімаються по ньому, а рухаються неперервним потоком під тиском наступних рослинних решток з постійною швидкістю. Рослинні рештки довжиною не більше – 0,2 м, при швидкості руху сівалки $V=15$ км/год при коефіцієнтах тертя по поверхні поля ($f_1 = 0,8$) та стеблевідводу ($f_2 = 0,37$) зможуть піднятися на максимальну висоту $H_1 = 0,05$ м при $\alpha = 0^\circ - 9^\circ$, при $\alpha = 9^\circ - 48^\circ$ будуть знаходитися в стані спокою по відношенню до стеблевідводу, а при $\alpha > 48^\circ$ сповзатимуть з нього. Максимальна висота розташування горизонтальної частини стеблевідводу H_1 , на яку самостійно зможуть підніматися рослинні рештки, не може бути більше $H_1 = L - c$, де c - величина, яка залежить від поперечного діаметра стеблевідводу.

6. Кут нахилу стеблевідводу α і радіус кривизни горизонтальної ділянки R_1 мають прямо пропорційну залежність від поступальної швидкості руху сівалки V . Так, при малих швидкостях руху сівалки $V=7\ldots 9$ км/год і кутові нахилу $\alpha = 22^\circ$ радіус кривизни другої ділянки необхідно вибирати в межах $R_1 = 0,15 - 0,25$ м. Для підвищення швидкості руху сівалки і забезпечення сприятливих умов роботи при більшій лінійній густині рослинних решток на поверхні поля та неперервному їх рухові по стеблевідводу необхідно підвищувати мінімальні значення радіусу другої ділянки стеблевідводу.

7. За результатами досліджень встановлено діапазони зміни раціональних значень параметрів стеблевідводу сошника для прямої сівби, при яких можна досягти максимальної ефективності його роботи:

- швидкість руху сівалки – 10...13 км/год.;
- кут нахилу передньої ділянки стеблевідводу сошника до поверхні поля – 22...24°;
- висота другої ділянки стеблевідводу над поверхнею ґрунту не менше – 0,07...0,08 м;
- радіус другої ділянки стеблевідводу в межах – 0,25...0,3 м.
- коефіцієнт лінійної густини розташування рослинних решток пшениці $\mu = 0,14 - 0,18$, кукурудзи $\mu = 0,1 - 0,15$, соняшнику $\mu = 0,08 - 0,12$.

8. Експериментальні сошники порівняно з серійними за тяговим опором залежно від глибини сівби та швидкісного режиму мають переваги, відповідно: з анкерними на - 14% і дводисковими на - 22%.

9. Розрахунок економічної ефективності від впровадження результатів досліджень, станом на 1 січня 2013 р., свідчить про можливість отримання економічного ефекту в розмірі 8157 грн. на одну машину в рік. В результаті застосування робочих органів з гострим кутом входження в ґрунт обладнаних стеблевідводом можна досягти зменшення питомої матеріалоємності посівних машин аналогічного призначення на 14,3%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.– М.: Наука, 1976.– 279 с.
2. Аллен Х.П. Прямой посев и минимальная обработка почвы / Х.П. Аллен.; [пер. с англ. М.Ф. Пушкарёва].– М.: Агропромиздат, 1985.– 208 с.
3. Анискин В.И. Приоритетные направления и принципы развития механизации растениеводства / В.И. Анискин, Н.М. Антышев // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 2002.– № 6.– С. 2–5.
4. Аніскевич Л. В. Модель функціонування посівної машини в системі точного землеробства / Л.В. Аніскевич // Механізація виробничих процесів рибного господарства промислових і аграрних підприємств.– Керчь, 2001.– С. 112-118.
5. Бараев А.И. Почвозащитное земледелие. Избранные труды. / Бараев А.И. – М.: Агропромиздат, 1988.– 383 с.
6. Боков Д.В. Обоснование конструкции однодискового каткового сошника / Д.В. Боков // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 2005. – № 2.– С. 30–31.
7. Бузенков Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г.М. Бузенков, С.А. Ма.– М.: Машиностроение, 1976.– 272 с.
8. Буренок В.П. Прямой посев при нулевой обработке почвы / В.П. Буренок, Л.А. Язева, Т.П. Кукшенева // Достижения науки и техники АПК.– 2009.– № 9.– С. 25–27.
9. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко.– К.: УАСХН, 1960.– 283 с.
10. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973.– 199 с.

11. Випробування сільськогосподарської техніки. Машини посівні. Методи випробування: СОУ 74.3-37.129: 2004.— К.: Мінагрополітики України, 2006. (Галузеві стандарти, які розроблені УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого).
12. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статисти- ческим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: Учебное пособие. / Э.А. Вуколов.— М.: Форум, 2008.— 464 с.
13. Гассен Д. Прямой посев - дорога в будущее / Д. Гассен, Ф. Гассен.- Днепропетровск: Корпорація "Агро-Союз", 2004.- 206 с.
14. Гильштейн П.М. Почвообрабатывающие машины и агрегаты. Констру- ирование и расчет / П.М. Гильштейн, Д.З. Стародинский, М.З. Цим- мерман.— М.:Машиностроение, 1969.— 191 с.
15. Горячкин В.П. Собрание сочинений [в 3 т.] / В.П. Горячкин; [отв. ред. Н.Д. Лучинский].— М.: Колос, 1965.— 720 с.
16. Гречкосій В.Д. Сучасна зарубіжна техніка для ґрунтозахисного земле- робства / В.Д. Гречкосій // Аграрна техніка та обладнання.— 2008.—№1.— С. 28–32.
17. Гульяева В.В. Прямой посев зерновых / В.В. Гульяева, Л.И. Кондратец, Л.Г. Суворова // Механизация и электрификация сельского хозяйства.— 1986.— №5.— С. 60–62.
18. Гусев В.М. Посевные машины США и Канады / В.М. Гусев, В.И. Мишин // Тракторы и сельскохозяйственные машины.— 1989.— №3.— С.55–58.
19. Двудисковый сошник: А. с. 1020033 СССР, МКИ А01С 7/20 / И.И. Зайцев, Г.М. Пекерман, С.И. Шмат [и др.] (СССР). — №3390158/30–15; заявл. 11.12.81; опубл. 30.05.83, Бюл. № 20.
20. Двудисковый сошник: А. с. 1135444 СССР, МКИ А01С 7/20 / П.И. Складарский, С.М. Беленко, С.И. Шмат [и др.] (СССР). — №3499615/30– 15; заявл. 14.10.82; опубл. 23.01.85, Бюл. № 3.

21. Двудисковый сошник: А. с. 210520 СССР, МКИ А01С 7/20 / П.И. Рыбчинский, Т.Я. Мусийченко, С.И. Шмат [и др.] (СССР). – №1124717/30–15; заявл. 07.01.67; опубл. 6.11.68, Бюл. № 6.
22. Дисковый сошник: пат. 2357395 Россия, МПК А01С7/20 / Кофейникова Е.В., Мансков В.Е., Хоменко А.И., Черепанов В.Г.; заявитель и патентообладатель: ООО "Агроинновационный центр".– 2007115648/12 (2006.01); заявл. 25.04.2007; Опубл. 27.10.2008.
23. Долгов И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины. Конструкция, теория, расчет / И.А. Долгов.– Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2003.– 707 с.
24. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): [учеб. для вузов] / Б.А. Доспехов; Изд. 5–е, перераб. и доп.– М.: Агропромиздат, 1985.– 351 с.
25. Драйер Х. История успеха сеялки Primers DMC / Хайнц Драйер.– Оснабрюк: Wentker Druck.– 2010.– 100 с.
26. Екологічні проблеми землеробства / [І.Д. Примака, Ю.П. Манько, Н.М. Рідей та ін.]; за ред. І.Д. Примака.– К.: Центр учбової літератури, 2010.– 456 с.
27. Желиговский В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В.А. Желиговский.– Тбилиси: Грузинский СХИ, 1960.– 146 с.
28. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики / П.М. Заика.– К.: Изд-во УСХА, 1992.– 512 с.
29. Зволинский В.Н. Развитие Конструкций зерновых сеялок прямого посева / В.Н. Зволинский, Н.И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 2003.– №7.– С. 28–36.
30. Зволинский В.П. Посевная техника в России и странах СНГ / В.Н. Зволинский, Н.И. Любушко // Техника и оборудование для села.– 2000.– №2.– С. 5–13.

31. Ивженко С.А. Совершенствование технологии посева / С.А. Ивженко, Е.Н. Плешков, Д.В. Боков // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 2003.– №4.– С.7–8.
32. Каплун А. Выбор сеялки для No-till: какой сошник предпочесть / А. Каплун // Аграрное обозрение.– 2010.– №5(21).– С. 56-59.
33. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Сакун.– М.: Колос, 1994.– 751 с.
34. Ковалев В.Я. Исследование комбинированных сошников для прямого посева семян зерновых культур / В.Я. Ковалев // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 1980.– №10.– С. 17–19.
35. Ковалик М.Я. Ресурсозберігаючі технології – один з найбільш перспективних напрямків поліпшення використання земельних ресурсів / М.Я. Ковалик, Г.Т. Степаник // Інноваційна економіка.– 2011.– №7 (26). С. 87–91.
36. Коваль С. Тенденции развития конструкций зерновых сеялок / С. Коваль // Техніка АПК.– 2008.– № 5.– С. 12–19.
37. Колмаков П.П. Минимальная обработка почвы / П.П. Колмаков, А.М. Нестеренко; под ред. А.К. Бараева.– М.: Колос, 1981.– 240 с.
38. Комаристов В.Е. Сельскохозяйственные машины / В.Е. Комаристов, Н.Ф. Дунай.– М.: Колос, 1984.– 478 с.
39. Концепція Державної цільової економічної програми впровадження в агропромисловому комплексі новітніх технологій виробництва сільськогосподарської продукції на період до 2016 року. – [Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 23.12.2009 р. № 1650-р]. [Електронний ресурс].– URL: <http://minagro.gov.ua/page/?10490>. (27.06.2012).
40. Корн Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г.А. Корн, Т.М. Корн.– М.: Наука, 1974.– 832 с.
41. Косолап М.П. Виробництво зерна в Україні за технологією No-till / М.П. Косолап, О.П. Кротінов.– К: Логос, 2009.– 123 с.

42. Корниенко А.В. Резервы повышения эффективности технологий в растениеводстве / А.В. Корниенко, А.К. Нанаекно // Техника в сельском хозяйстве.– 2002.– №3.– С. 11–15.
43. Кроветто К.К. No-till. Взаимосвязь между No-till, растительными остатками, питанием растения и почвы / К.К. Кроветто.– Днепропетровск, 2007.– 235 с.
44. Круть В. Ефективність безполцевого обробітку в Україні / В. Круть // Техніка АПК.– 1999.– №5.– С.12-13.
45. Кузнецов Б.Ф. Отечественная посевная техника / Б.Ф. Кузнецов, В.А. Юбзашев, Н.И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 1988.– №11.– С. 25–27.
46. Кукса Л. Ресурсо– й енергоощадні технології обробітку ґрунту та сівби зернових культур / Л. Кукса // Пропозиція.– 2008.– № 4.– С. 118–124.
47. Кукта Г.М. Испытание сельскохозяйственных машин / Г.М. Кукта.– М.: Машиностроение, 1964.– 284 с.
48. Кушнарев А.С. Уменьшение вредного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении промышленных технологий возделывания сельскохозяйственных культур / А.С. Кушнарев, В.М. Мацепуро.– М.: ВСХИЗО, 1986.– 56 с.
49. Кушнарев А.С. Методические предпосылки выбора способа обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.В. Погорелый // Техника АПК.– 2008.– № 1.– С.17-21.
50. Кушнарев А.С. Новые научные подходы к выбору способа обработки почвы / А.С. Кушнарев А.С. Кравчук В.И. // Техніка і технології АПК.– 2010.– № 5(8).– С. 6-10.
51. Лаповый сошник: пат. 2357395 Россия, МПК А01С7/20 (2006.01) А01В35/26, (2006.01) / Селин А.В., Мунгалов В.А., Сюмак А.В.; заявитель и патентообладатель: Дальневосточный научно–исследовательский и проектно–технологический институт механизации и электрификации

- сельского хозяйства Россельхозакадемии.– 2008126569/12 (2006.01); заявл. 30.06.2008; Опубл. 10.10.2009.
52. Легкодух І. Аналітичний огляд посівної техніки / І. Легкодух, С. Павленко, Ю. Шпильовий // Техніко–технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства.– Дослідницьке, 2009.– Вип. 13 (27), кн.1.– 480 с.
53. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев.– [3-е изд. перераб. и доп.].– М.–Л.: Сельхозгиз, 1955.– 764 с.
54. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / [Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов и др.].– М.: Агропромиздат, 1986.–594 с.
55. Лихочвор В.В. Про революційні зміни у технологіях в рослинництві / В.В. Лихочвор, В.Ф. Петриченко // Зерно.– 2010.– №7.– С. 42–50.
56. Лобачевский П.Я. Оценка качества посева / П. Я. Лобачевский, Ф.В. Авраменко // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 2010.– № 7.– С. 12–13.
57. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье, А.А. Громбчевский.– Л.: Машиностроение, 1977.– 528 с.
58. Любушко Н.И. Зерновые сеялки на рубеже XXI века / Н.И. Любушко, В.И. Зволлинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 2001.– № 2.– С. 4–7.
59. Любушко Н.И. Посевные машины, применяемые в Канаде и США для почвозащитных технологий // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 1990.– №7.– С. 44.50.
60. Максимов Л.М. Сменный широкополосный сошник с дисковым разбрасывателем / Л.М. Максимов, П.Л. Максимов // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 2007.– № 1.– С. 11–14.
61. Мальцев Т.С. Вопросы земледелия / Т.С. Мальцев.– М.: Колос, 1971.– 191 с.

62. Марковская Г.К. Влияние минимализации обработки почвы на ее биологическую активность / Г.К. Марковская, Н.А. Кирясова // Достижения науки и техники АПК.– 2007.– №1.– С. 16–17.
63. Марченко В.В. Технології і технічні засоби сівби при мінімальному і нульовому обробітку / Марченко В.В., Котко І.Г., Опалко В.Г. // Аграрна техніка та обладнання.– 2009.– №1(6).– С. 20–28.
64. Машины для обробітку ґрунту та сівби / [Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф., Шустік Л.П. та ін.] за ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника.– Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.– 2009.– 228 с.
65. Медведовський О.К. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві / О.К. Медведовський, П.І. Іваненко.– К.: Урожай, 1988.– 208 с.– (Економія і бережливість).
66. Медведев В.В. Нульовий обробіток ґрунту в європейських країнах / В.В. Медведев.– Харків: ТОВ "ЕДЕНА", 2010.– 202 с.
67. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин.– Л.: Колос, 1980.– 167 с.
68. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів [Текст]: навч. посібник / О.М. Царенко [та ін.]; за заг. ред. С.С. Яцуна.– К.: Аграрна освіта, 2000.– 243 с.
69. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: [навч. посібник] / А.С. Кобець, Т.Д. Іщенко, Б.А. Волик, О.А. Демидов.– Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009.– 84 с.
70. Морозов І.В. Технологічні і технічні основи удосконалення конструкцій сошників зернових сівалок: автореф. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.05.11 “Машины і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / І.В. Морозов.–Тернопіль, 2003.– 40 с.

71. Мордухович А.И. Прямой посев: достоинства, проблемы / А.И. Мордухович / Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 1987.– № 6.– С. 17-20.
72. Моргун Ф.Т. Почвозащитное бесплужное земледелие / Ф.Т. Моргун, Н.К. Шикула.- М.: Колос, 1984.- 276 с.
73. Мухин С.П. О создании универсальной посевной техники / С.П. Мухин // Техника в сельском хозяйстве.– 1997.– № 3.– С. 22–24.
74. Науково-технічна експертиза техніко-технологічних рішень систем обробітку ґрунту / [В.І. Кравчук, В.В. Погорілий, Л.П. Шустік та ін.].– К.: Фенікс, 2008.– 50 с.
75. Новатски Д. Консервативное возделывание почвы и оборудование для стерневого посева / Новатски Д., Эшли Р., Хофман В.– NDSU Extension Service, Fargo, North Dakota 58105, ноябрь, 2007.
76. Овсинский И.Е. Новая система земледелия / Перепечатка публикации 1899 г. (Киев, тип. С.В. Кульженко). – Новосибирск: АГРО-СИБИРЬ, 2004.– 86 с.
77. Панічев Р. Стратегії обробітку ґрунту / Р. Панічев // Агросектор (журнал сучасного сільського господарства).– 2007.– № 9(23).–С. 18–22.
78. Пивовар В.С. Ефективність використання вітчизняної посівної техніки для прямого посіву сільськогосподарських культур / В.С. Пивовар // Продуктивність агропромислового виробництва.– 2009.– №15.– С. 77–85.
79. Писарев О.С. О параметрах сошника сеялки для прямого посева / О.С. Писарев // Техника в сельском хозяйстве.– 2006.– №4.– С. 36.
80. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин / Л.В. Погорелый.– К.: Техніка, 1991.– 156 с.
81. Погорелый Л.В. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин / Л.В. Погорелый, В.Я. Анилович.– К.: Феникс, 2004.– 208 с.

82. Погорілий В. Сошникові групи зернових сівалок для різних систем обробітку ґрунту / В. Погорілий, Л. Шустік, С. Маринін, Л. Мазурик // Техніко–технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України.– Дослідницьке, 2009.– Вип. 13 (27).– Книга 1.– С. 198–205.
83. Про Національний план дій на 2012 рік щодо впровадження Програми економічних реформ на 2010-2014 роки "Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава" [Текст]: Указ Президента України від 12 березня 2012 року № 187/2012 // Офіційний вісник Президента України.– 2012.– № 10.– С. 3.
84. Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу [Текст]: закон України від 7 лютого 2002 року № 3023-III // Відомості Верховної Ради України.– 2002, № 24. С. 167.
85. Посев по технологии No-till в рамках почвозащитного земледелия: [сб. материалов / авт. текста С. Джон Бейкер, Кейт Е. Сэкстон, У. (Билл) Р. Ритчи и др. (пер. с англ.)].– Днепропетровск: No-till Seeding in Conservation Agriculture Second edition, 2007. – 365 с.
86. Пристрій для визначення тертя сільськогосподарських матеріалів: Пат. 65635 Україна, МПК G01N 19/02 (2006.01) / Свірень М.О., Лузан О.Р., Сало В.М., Бойко А.І., Лузан П.Г.; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.- № u2011 06408 заявл. 23.05.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. №23.
87. Продукція ПАТ «Червона Зірка»: [каталог].– [Кіровоград: ПАТ «Червона Зірка», 2010].– 35 с.
88. Проектування сільськогосподарських машини. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / [І.М. Бендера, А.В. Рудь,

Я.В. Козій та ін.]; за ред. І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія.– Кам'янець–Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011.– 640 с.

89. Прокопенко В.А. Эффективность отечественных и зарубежных технологий / В.А. Прокопенко // Техника и оборудование для села.– 2001.– №8.– С. 17-21.

90. Пындак В.И. Сеялки для прямого посева / В.И. Пындак, А.М. Салдаев.– Земледелие, 1995.– №3.– С. 32–33.

91. Пьяных В.П. Сошник сеялки для широкополосного посева / В.П. Пьяных, А.М. Кольчугов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 1995.– №7.– С.26.

92. Ревякин В.Л. Развитие машин для минимальной и нулевой обработки почв. Обзорная информация / В.Л. Ревякин.– М.: ВНИИТЭИСХ, 1981.– 53 с.

93. Ресурсозберігаючі технології механічного обробітку ґрунту в сучасному землеробстві України / [І.Д. Примака, В.О. Єщенко, Ю.П. Манько та ін.]; за ред. І.Д. Примака.– К.: „КВІЦ“, 2007.– 272 с.

94. Рудь А.В. Огляд і аналіз конструкцій сівалок для сівби зернових культур / А.В. Рудь, Ю.Ф. Павельчак, В.В. Нікітін // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Зб. наук. праць.– Кіровоград: КНТУ, 2010.– Вип. 40, част. – С. 42–48.

95. Рыбаков В.Н. Классификация механизмов присоединения сошника / В.Н. Рыбаков // Тракторы и сельхозмашины.– 1976. –№5.– С. 24-26.

96. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов экспериментальных исследований / Л.З. Румшинский.– М.: Наука, 1971.– 192 с.

97. Сабликов М.В. Научные основы повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники / М.В. Сабликов.– М.: Колос, 1981.– 156 с.

98. Сакстон К.Е. Главный элемент сеялки [Электронный ресурс] / К.Е. Сакстон // Зерно.– 2009.– №3.– Режим доступа до журналу <http://zerno-ua.com/?p=1909>. (27.06.2012).
99. Сало В.М. Тенденції сталого розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування в Україні і за рубежом [Електронний ресурс] / В.М. Сало, С.І. Шмат, П.Г. Лузан // Международная научно-техническая интернет конференция «Задачи земледельческой механики в XXI веке», 2-10 ноября 2011 г.– Дослідницьке – Мелітополь, 2011.– С. 61–65.– Режим доступа до збірника доповідей: www.tsaa.org.ua.
100. Сеялки тракторные. Методы испытаний: ГОСТ 31345-2007.– [Дата введения 2009-01-01].– М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007.– 57 с.– (Межгосударственный стандарт).
101. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытания: ГОСТ 20915-75.– [Чинний від 1975-06-19].– М.: Издательство стандартов, 1975.– 42 с.– (Міждержавний стандарт).
102. Синееков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синееков, И.М. Панов.– М.: Машиностроение, 1977.– 328 с.
103. Сисолін П.В. Конструкторські розробки нових вітчизняних, універсальних машин для звичайної, стерньової, мульчо-стерньової, екологічнобезпечної, енергозберігаючої технології вирощування сільськогосподарських культур в Україні: [наукове видання] / Петро Васильович Сисолін.– Кіровоград: КОД, 2009.– 128 с.
104. Сысолин П.В. Прямой посев зерновых культур – это дань моды или необходимость для сельских тружеников / П.В. Сысолин, В.М. Сало // Техніка АПК.– 2008.– № 8.– С. 18.
105. Сільськогосподарські машини / [Бакум М.В., Бобрусь І.С., Михайлов А.Д. та ін.]; за ред. М.В. Бакума.– Х.: ПП "Черв'як", 2005.– 332 с.– (Посівні машини. Частина 3).

106. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування: ДСТУ 4397:2005.– [Чинний від 2005–04–28].– К.: Держспоживстандарт України, 2005.– 16 с.– (Національний стандарт України).
107. Скурятин Н.Ф. Изыскание энергосберегающего способа посева зерновых культур [Электронный ресурс] / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев // Научный журнал КубГАУ, №42(8), 2008.– С. 2–15 (Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета).– URL: <http://ej.kubagro.ru>. (27.06.2012).
108. Сошник для двухстрочного посева: А. с. 210520 СССР, МКИ А01С 7/20 / Г.А. Гирский, П.В. Сысолин, С.И. Шмат, (СССР). – №1150682/30–15; заявл. 10.04.67; опубл. 29.03.68, Бюл. № 12.
109. Сошник: А. с. 1014499 СССР, МКИ А01С 7/20 / Н.И. Любушко, В.М. Гусев, С.И. Шмат [и др.] (СССР). – №3340007/30–15; заявл. 17.08.81; опубл. 30.04.83, Бюл. № 16.
110. Сошник: пат. 19178 Україна, МПК А01С 7/20 (2006.01) / Шмат С.І., Мачок Ю.В., Лузан П.Г., Дейкун В.А.; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.– № u200604178; заявл. 14.04.06; опубл. 15.12.06, Бюл. №12.
111. Сошник: пат. 2386236 Россия, МПК А01С7/20 (2006.01) А01В35/26, (2006.01) / Ивженко С.А., Перетятко А.В.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова".– 2008148356/12 (2006.01); заявл. 08.12.2008; Опубл. 20.04.2010.
112. Сошник: А.с. 1806513 СССР, МКИ А 01 С 7/20 / В.А. Кириченко, С.П. Никитин, Н.В. Бакум, И.В. Морозов и Ю.И. Трофимченко (СССР).– № 4907694/15; заявл. 04.02.91; опубл. 07.04.93, Бюл. № 13.

113. Тупицин Н.В. Новая конструкция двухдискового сошника / Н.В. Тупицин [и др.] // Достижения науки и техники АПК.– 2005.– № 12.– С. 29–30.
114. Универсальная высокопроизводительная сеялка с рациональным решением для посевного материала и удобрений [Электронный ресурс] / AMAZONEN–WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG Postfach 51 D–49202 Hasbergen–Gaste. Режим доступа до электронного ресурсу: http://amazone.promintel-agro.ru/files/_primera_DMC.pdf. (27.06.2012).
115. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис.– К.: УААН, 2002.– 374 с.
116. Шикула Н.К. Минимальная обработка черноземов и воспроизведение их плодородия / Н.К. Шикула, Г.В. Назаренко.– М: Агропромиздат, 1990.– 320 с.
117. Шустік Л. Сучасна техніка для обробітку ґрунту і посіву зернових / Л. Шустік // Техніка і технології АПК.– 2010.– № 7 (10).– С. 21–25.
118. Якість ґрунту. Визначення твердості ґрунту твердоміром Рев'якіна: ДСТУ 5096:2008.– [Чинний від 2009-03-01].– К.: Держспоживстандарт України, 2009.– 4 с.– (Національний стандарт України).
119. Baker C.J. No–tillage seeding: Science and practice. / C.J. Baker, K.E. Saxton, W.R. Ritchie CAB International, Wallingford, UK, 1996. – 258 p.
120. Ekboir, J. (Ed.), 2002. CIMMYT 2000–2001 World Wheat Overview and Outlook: Developing No-Till Packages for Small-Scale Farmers. CIMMYT, Mexico, DF.
121. Epplin F.M. Impacts of Alternative Tillage Methods for Continuous Wheat on Grain. Yield and Economics: Implications for Conservation / F.M. Epplin, G.A. Al-Sakkaf, T.F. Peeper // Journal of Soil and Water Conservation, 1994.– P. 394-399.
122. Epplin, Francis M., Curtis J. Stock, Darrel D. Kletke, and Thomas F. Peeper. 2005. Cost of Conventional Tillage and No-till Continuous Wheat

Production for Four Farm Sizes. Journal of the American Society of Farm Managers and Rural Appraisers 69:69-76.

123. Harman W.L. No-Till Technology: Impacts on Farm Income, Energy Use and Groundwater Depletion in the Plains / W.L. Harman, D.C. Hardin, A.F. Wiese, P.W. Unger and J.T. Musick // Western Journal of Agricultural Economics, 1985.– №1.– P. 134-146.

124. LI Hong-wen A New-concept of No-till Row-follow Wheat Planter / LI Hong-wen, WANG Xiao-yan, LI Bing, WEI Yan-fu // Journal of Agricultural Mechanization Research.-2004-05.– Department of Agricultural Engineering, Chi-na Agricultural University, Beijing 100083, China.– Режим доступа до журн.: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NJYJ200405067.htm. (27.06.2012).

125. Metzger M.J. The vulnerability of ecosystem services to land use change / M.J. Metzger et al. // Agriculture, Ecosystems and Environment, 114 (2006). P. 69–85.

126. Rolf Derpsch, Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits / Rolf Derpsch, Theodor Friedrich, Amir Kassam, Li Hongwen // International Journal of Agricultural and Biological Engineering.– Vol 3, No 1 (2010).– pp. 1-26. URL: <http://www.ijabe.org>. (27.06.2012).

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	4
1.1. Передумови виникнення і розвиток прямої сівби	4
1.2. Аналіз технічного забезпечення прямої сівби	6
1.2.1. Аналіз основних типів сошників для прямої сівби	6
1.2.2. Аналіз основних типів сівалок для прямої сівби.....	24
1.3. Аналіз теоретичних передумов обґрунтування конструкції сошника для прямої сівби зернових культур	30
1.4. Гіпотеза технічного забезпечення працездатності сошників з гострим кутом входження в ґрунт	36
2. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ СОШНИКА З РОСЛИННИМИ РЕШТКАМИ	39
2.1. Аналіз факторів, які впливають на взаємодію елементів конструкції сошника з рослинними рештками	39
2.2. Обґрунтування умов руху рослинних решток на похилій ділянці стеблевідводу	41
2.3. Дослідження руху рослинних решток по горизонтальній ділянці стеблевідводу	57
2.4. Аналіз процесу роботи стеблевідводу з рослинними рештками, які утримуються в ґрунті кореневою системою	65
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	80
3.1. Програма експериментальних досліджень	80
3.2. Методика визначення фізико-механічних властивостей ґрунту та рослинних решток	82
3.2.1. Визначення вологості ґрунту та рослинних решток	82

3.2.2. Визначення твердості ґрунту	83
3.2.3. Визначення фрикційних властивостей ґрунту та рослинних решток	84
3.3. Методика досліджень по визначенню та уточненню конструктивних параметрів стеблевідводу сошника	86
3.3.1. Технічне забезпечення експериментальних лабораторних досліджень	86
3.3.2. Планування та зміст експериментальних досліджень	88
3.4. Методика лабораторних досліджень визначення тягового опору сошників	96
3.5. Методика визначення агротехнічних показників роботи експериментальних сошників у виробничих умовах	98
3.5.1. Особливості конструкції і роботи експериментальної сівалки	99
3.5.2. Встановлення впливу швидкості руху посівного агрегату на якісні показники сівби експериментальними сошниками	101
3.5.3. Визначення коефіцієнта лінійної густини рослинних решток	103
3.5.4. Порівняльні дослідження експериментальних та серійних сошників	104
3.5.5. Визначення реальної глибини загортання насіння в ґрунт сошниками	108
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УМОВ ТА ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СОШНИКА ЗІ СТЕБЛЕВІДВОДОМ	109
4.1. Показники фізико-механічних властивостей рослинних решток та ґрунту	109
4.1.1. Коефіцієнти тертя рослинних решток.....	109
4.1.2. Вологість та твердість ґрунту	110

4.1.3. Характеристика рослинних решток	110
4.2.Вплив фізико-механічних властивостей ґрунтового-рослинного середовища та геометричних параметрів стеблевідводу на ефективність відведення рослинних решток	111
4.3.Результати порівняльних лабораторних досліджень тягового опору сошників	126
4.4.Порівняльні показники роботи експериментального сошника ..	129
5. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	135
5.1.Впровадження результатів досліджень	135
5.2.Економічна ефективність від впровадження результатів роботи	136
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	144
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	147

Наукове видання

**САЛО Василь Михайлович
ЛУЗАН Олена Романівна
ЛУЗАН Петро Григорович
МАЧОК Юрій Вікторович**

**ЗАГОРТАЮЧІ РОБОЧІ ОРГАНИ ДЛЯ
ПРЯМОЇ СІВБИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

Редактор Сало В.М.
Технічний редактор Лисенко В.Ф.
Комп'ютерна верстка Лузан О.Р.